

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

ННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

УДК 681.536.5:631.445.5

ПОГОДЖЕНО

Директор ННІ енергетики,
автоматики і енергозбереження
(назва ННІ)

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри автоматики
та робототехнічних систем
ім. акад. І.І. Мартиненка
(назва кафедри)

_____ В.В. Каплун
(підпис) (ПІБ)

_____ О.О. Опришко
(підпис) (ПІБ)

«__» _____ 2024 р.

«__» _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

02.06.-КМР.1664"С".2024.09.26.023.ПЗ

на тему **«ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ
ТЕМПЕРАТУРНИМ РЕЖИМОМ У БГУ»**

Спеціальність:

174– «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»
(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма:

Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка
(назва)

Гарант освітньої програми

_____ І.М. Болбот, д.т.н., професор
(підпис) (П.І.Б, науковий ступінь та вчене звання)

Виконав

_____ О.Д. Чиркін
(підпис) (П.І.Б студента)

Керівник магістерської роботи

_____ С.А. Шворов, д.т.н., професор
(підпис) (П.І.Б, науковий ступінь та вчене звання)

КИЇВ-2024

ЗМІСТ

Вступ	4
РОЗДІЛ 1. Аналіз технологічного процесу виробництва біогазу як об'єкта автоматизації	8
1.1. Стан автоматизації технологічного процесу із зображенням функціональної схеми автоматизації	8
1.2. Інформаційний аналіз технологічного процесу як об'єкта автоматизації з використанням параметричних схем	14
РОЗДІЛ 2. Математичне моделювання температурного режиму в біогазовій установці	18
2.1. Аналіз фізико-хімічних процесів, що протікають в об'єкті автоматизації	18
2.2. Математичний опис теплових процесів в біореакторі	22
2.3. Аналіз динаміки та визначення передаточної функції об'єкта керування	27
РОЗДІЛ 3. Вибір регулятора та обґрунтування параметрів його налаштувань	30
3.1. Функціональна схема автоматизації системи керування температурним режимом виробництва біогазу	30
3.2. Вибір первинного перетворювача	35
3.3. Вибір та розрахунок параметрів виконавчих механізмів об'єкта керування	39
3.4. Вибір виконавчого механізму для регулюючого органу	47
3.5. Вибір мікроконтролера системи керування	50
3.6. Побудова перехідного процесу замкненої системи та визначення показників якості регулювання	53
РОЗДІЛ 4. Вдосконалення засобів автоматизації управління температурним режимом в біореакторі біогазової установки	60
4.1. Інтегрована нейрон-нечітка модель ANFIS	60
4.2. Синтез системи автоматичного керування за допомогою нейромережевих технологій	64
4.3. Дослідження удосконаленої системи автоматичного керування на стійкість	69
РОЗДІЛ 5. Ефективність біогазових технологій	71
5.1. Загальна ефективність	71
5.2. Енергетична доцільність	72
5.3. Економічна ефективність	75
5.4. Екологічна безпека	78
Висновки	84
Література	85
Додатки	87

ВСТУП

Актуальність теми. У сучасному розвитку сільського господарства важливим є питання збільшення енергетичних ресурсів та переробки промислових відходів.

За даними статистики щорічно країни ЄС виробляють побутові та сільськогосподарські відходи в об'ємах 100-120 млн. т нафтового еквіваленту (н.е.). З них 50-60 млн. т н.е. можуть бути утилізовані у віддаленій перспективі, а зараз 15-20 млн. т н.е. Аналогічні показники для альтернативних джерел енергії становлять (млн. т н.е.): геотермальна енергія — 3-7,5, сонячна енергія — 10-20, енергія вітру — 6-10.

Загальне виробництво первинної енергії з біогазу в країнах ЄС в 2022р. становило понад 12 млн. т н.е. (еквівалент 18,8 млрд. м³ природного газу (ПГ)). Загальна кількість біогазових установок у 2022 р. перевищувала 13800 одиниць.

Домінуючим напрямом енергетичного використання біогазу є виробництво електроенергії з подальшим постачанням до електричної мережі. За останнє десятиліття почали швидко розвиватися проекти виробництва біометану з подальшим закачуванням у мережі ПГ. Звичайно, біометан подається у розподільчі мережі під тиском нижче 16 бар.

Нині біометан (БМ) виробляється у 15 європейських країнах. Подача БМ у мережу відбувається в 11 країнах (Австрія, Чехія, Німеччина, Данія, Фінляндія, Франція, Люксембург, Нідерланди, Норвегія, Швеція, Великобританія). У 12 європейських країнах (Австрія, Чехія, Німеччина, Данія, Фінляндія, Франція, Угорщина, Ісландія, Італія, Нідерланди, Швеція, Великобританія) біометан використовується як моторне паливо (в тому числі у вигляді суміші з ПГ), а також для виробництва тепла (в чистому виді або в суміші з ПГ).

На сьогодні загальна кількість біометанових станцій у європейських країнах досягла 250 од., з яких 200 станцій подають БМ в мережу ПГ.

Дорожня карта з виробництва біогазу в країнах ЄС показує можливість виробництва біогазу в 27 країнах ЄС в 2022 р. в обсязі, еквівалентному 29,43 млн. т н.е. (еквівалент 36,29 млрд. м³ природного газу). Для цього достатньо буде використовувати 35% усіх гнойових відходів тваринницьких ферм і вирощувати енергетичні культури під біогаз на 5% сільськогосподарських земель. При цьому приблизно 3/5 обсягу біогазу планується виробляти з енергетичних культур, 1/5 – із гною, і ще 1/5 – з інших відходів і побічних продуктів промисловості та сільського господарства. За оцінками аналітиків, ринок біогазу продовжить стрімко розвиватися, заміщуючи інші енергоносії в загальній структурі енергетичного балансу країн.

Для України найнагальнішою проблемою є необхідність скоротити витрати на енергію, а саме постачання природного газу, що, в свою чергу, виводить на низку видів економіки на ниві виживання.

Внаслідок кількох років виснаження витрати на енергоносії зросли в кілька разів, що поставило на бік виживання не тільки сільськогосподарський виробник, але й ряд районів національної економіки.

Зниження споживання енергії може бути досягнуте за рахунок впровадження принципу нових технологій.

Україна має значний потенціал альтернативних джерел енергії (АДЕ).

Класифікація таких джерел енергії та установок для їх використання:

- 1) Енергія сонця: рідинні сонячні колектори; збірники повітряних гелів; фотоелектричні батареї.
- 2) Енергія вітру: вітряні електростанції; вітряні турбіни.
- 3) Енергія Землі: гравітаційна енергія; приливні станції; геотермальна енергія; геотермальні установки.
- 4) Біологічна енергія: біогазові установки.

Одним з таких джерел є використання технологій для отримання альтернативних джерел енергії, серед яких належне місце були прийняті технології для виробництва газоподібного органічного палива.

Найбільш відомою і перевіреною у всьому світі технологією отримання газоподібного палива є анаеробне перетравлення органічної маси з викидом біогазу 55 - 70% метану, від 30 до 45% діоксиду вуглецю і менше 1% інших газів (сірководень, азот, ароматичні вуглеводні і т. д.).

Біомаса на сьогоднішній день є четвертою за величиною в світі, хоча в даний час вона забезпечує лише 14% світового споживання первинних носіїв. Біомаса, на відміну від традиційних «вичерпних» мінералів, які швидко розширюються, є джерелом постійно зростаючої енергії.

Згідно з дослідженнями, технічно здійснений потенціал виробництва біогазу з відходів гною в тваринницьких фермах України становить 1718,6 тис. тон в рік. Для досягнення таких результатів при утилізації відходів необхідно використовувати БГУ.

В Україні на базі тваринницьких комплексів (село Оленівка, Дніпропетровська область, село В. Крупіл і Терезине Київської області) побудовано і функціонує 3 великих БГУ і багато невеликих БГУ.

Однак методи анаеробної переробки біомаси в нашій країні вкрай обмежені. Основною причиною цього є відсутність розвитку енергетичних питань: високі витрати на температурну стабілізацію і нагрів субстрату, неналежне використання біогазу, надмірне використання електроенергії для власних потреб БГУ.

При виконанні кваліфікаційної магістерської роботи проводиться дослідження технологічного процесу в БГУ, параметрів робочого обладнання та технологічний процес утилізації органічних відходів сільсько-господарських підприємств шляхом анаеробної ферментації у біореакторі для виробництва біогазу.

Об'єктом дослідження є процес виробництва біогазу в біогазових установках.

Предметом дослідження є взаємозв'язки і закономірності режимів функціонування біогазової установки та їх вплив на ефективність виробництва біогазу.

Метою кваліфікаційної магістерської роботи є дослідження БГУ як об'єкта контролю температурного режиму та вдосконалення системи автоматичного керування.

Для реалізації поставленої мети вирішуються наступні завдання:

1. Провести аналіз стану сучасних технологій утилізації відходів сільськогосподарського виробництва.
2. Розробити математичну модель керування температурним режимом в біореакторі.
3. Проаналізувати і порівняти існуючу систему автоматизації з запропонованою на основі теорії нечіткої логіки біореактора БГУ.
4. Обґрунтувати вдосконалення системи автоматичного керування температури в біореакторі БГУ.
5. Розробити схему системи автоматичного керування робочими параметрами біореактора.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1. Стан автоматизації технологічного процесу із зображенням функціональної схеми автоматизації

Біогазова установка (БГУ) являє собою систему обробки та знезараження біологічних відходів і отримання двох кінцевих продуктів: біогазу та високоякісних органічних біологічних добрив. Біогазова установка побудована з одного або декількох реакторів стічних вод.

Основою роботи БГУ є біологічні процеси ферментації і розкладання органічних речовин під впливом утворюючих метан бактерій в анаеробних умовах, які характеризуються відсутністю вільного кисню, високої вологості і температурного середовища 15-20°C для психрофільних, 30-40°C для мезофільних і 50-70°C для термофільних бактерій.

Анаеробна ферментація проводиться в герметичному контейнері - реакторі, зазвичай циліндричному в формі горизонтального або вертикального розташування. Для ефективною ферментації в порожнині реактора необхідно підтримувати постійну температуру відповідно до прийнятого режимом ферментації: мезофільних або термофільних і проводити регулярне змішування засвоюється сировини.

Слід зазначити, що мезофільні режим вимагає менше тепла, але розкладання органічних речовин при такій температурі відбувається повільніше і не повністю.

Термофільна переробка сировини вимагає більшої кількості тепла, більш високій швидкості розкладання, збільшення виходу біогазу і найменш небезпечного для навколишнього середовища. Однак цей режим трохи складніше для реалізації і контролю.

В процесі ферментації відбувається викид біогазу, який містить 40-70% метану, 30-60% діоксиду вуглецю, близько 1% сірководню і невелика кількість азоту і водню. Об'ємне тепло спалювання біогазу становить близько 22 МДж.

Щоб максимізувати продуктивність установки, необхідно постійно змішувати субстрат і годувати свіжим. Установка оснащена спеціальною програмою мікшування і подачі, яка налаштовується для кожної підкладки окремо.

Всі процеси управляються автоматично. Основне обладнання включає сепаратор, що відокремлює біомасу від установки до твердої і рідкої фракцій.

Система контролю і безпеки обладнання надзвичайно важлива, оскільки БГУ все ще є газовим об'єктом, що вимагає обов'язкового контролю за безпекою операцій. Тільки в усьому комплексі вищевказаних умов БГУ буде забезпечувати високу продуктивність газових і якісних добрив, принесе значні економічні, екологічні та естетичні вигоди для підприємства.

Біогазова установка не споживає енергію ззовні, а, навпаки, працює з виробництвом енергії. З енергії, виробленої для потреб самої біогазової установки, вона складає всього 10-15% взимку, а влітку - всього 5%.

Біогазові ємність закачується в BSU за допомогою насосів або доставляється вантажівками в бункер-завантажувачі. Свіжа сировина потрібно подавати в реактор невеликими порціями кілька разів на день. Земляні або підземні камери бродіння метану (горизонтальні, вертикальні) виготовляються зі сталі, заливаються бетоном або монтуються з бетонних блоків невеликого розміру. На вибір матеріалу впливає його вартість, а також оціночна вартість внутрішнього тиску. Реактор являє собою газонепроникний, повністю герметичний резервуар. Ця конструкція ізольована, оскільки всередині резервуара необхідно зафіксувати температуру мікроорганізмів. (зазвичай 35-37°C). Усередині реактора знаходиться змішувач, призначений для повного змішування вмісту реактора з урахуванням того, що:

1. Використання реактора регулюється температурою і температурою бактерій для життя.

2. Газові бульбашки - це винні матері, які можуть бути закладені на поверхню, і процес накопичення біогазу стає ефективним.

3. Видалення перев'язувального матеріалу на поверхні біомаси.

Перемішування виконується механічними мішалками або ж шляхом нагнітання (під тиском) біогазу в резервуар, що викликає виникнення бульбашок, які переміщують матеріал в камері.

Оптимальна температура для біомаси зберігання мезофільних ферментів складу становить близько 35-37°C. Тому всі БГУ мають обігрівальні пристрої. Найчастіше застосовуються водяні нагрівачі, а іноді теплообмінники. З метою підтримання відповідної температури всередині камери сировину перед завантаженням підігрівають шляхом розбавлення гарячою водою або ж в теплообмінниках. Джерелом теплової енергії є частина (25 – 35%) виробленого біогазу, інша частина, що залишилась, використовується для виробництва електроенергії або тепlopостачання господарських приміщень. Витрати тепла для підтримання процесу ферментації залежать від ефективності метанової ферментації, а також конструкційного вирішення ферментаційного резервуару (теплова ізоляція).

У біогазовій установці газ, призначений для виробництва електричної енергії, необхідно відділити від баластних речовин, таких як вода та сірководень (допустимий вміст H_2S 1000 – 2000 мг/м³). Для осушення біогазу використовують адсорбуючий метод або метод конденсації. Необхідність видалення сірководню виникає у зв'язку з його сильними корозійними властивостями, особливо при використанні біогазу для живлення газових двигунів. Сірководень звичайно видаляють шляхом біологічного окислення, додаючи 2 – 8% повітря до необробленого біогазу. У деяких випадках виникає необхідність видалення двоокису вуглеводу фізико-хімічним шляхом, проте це необхідне лише тоді, коли до біогазу висуваються вимоги підвищеної якості.

Резервуари для біогазу повинні бути обладнані наступними елементами:

- манометрами;
- механізмом перекривання полум'я, який запобігає його поширенню за межі установки;
- пристроєм, що служить для спалювання надлишку біогазу у випадку аварії установок, що його використовують.

Виробництво електроенергії відбувається у комбінованих системах для виробництва електричної енергії та теплоти або ж у газових генераторах електричного струму. Вода, яка використовується для охолодження генератора, може спрямовуватися у теплообмінник і служити джерелом енергії для підігріву матеріалу, що завантажується. Електрична енергія, котра виробляється у комбінованих системах або ж в генераторах електричного струму, може використовуватися на власні господарські потреби або продаватися в енергетичну мережу.

Один кубічний метр біогазу дозволяє виробляти:

- 1 кВт·год електричної енергії (при коефіцієнті корисної дії системи 30%);
- 5 кВт·год теплової енергії (при коефіцієнті корисної дії системи 70%).

У комбінованих системах вироблення електроенергії і тепла: 2 кВт·год електричної енергії та 6,3 кВт·год теплової. Зараз у світі існує ряд технічних рішень та установок, що дають можливість проведення професійної метанової ферментації (виробництво біогазу) із виділень тварин.

Виробництво біометану стрімко розвивається у країнах ЄС, яка може бути досить хороша, щоб передумати в Україні, як наступних факторів:

1. Висока енергетична інтенсивність економіки України в порівнянні зі світовими показниками. Високе споживання природного газу, в тому числі на потреби відсталих промислових підприємств.
2. Критична залежність України від нестабільних поставок газу із зовнішніх ринків, у тому числі з Росії.

3. Високі та нестабільні ціни на природний газ, тенденції до їх збільшення для всіх категорій споживачів.

4. Високий потенціал виробництва біогазу з відходів АПК.

5. Великий потенціал виробництва біогазу при використанні вільних орних родючих земель для вирощування сировинних енергетичних культур за їх потенційно меншої собівартості (в порівнянні з виробництвом західних країн).

6. Розвиток транспортної інфраструктури ПГ, яка включає магістральні трубопроводи, що з'єднують Україну з країнами Європи, а також мережі розподільчих трубопроводів, які забезпечують велику частину населення України природним газом.

7. Традиції використання ПГ на транспорті, розвинута мережа газових заправних станцій (АГНКС).

Існує ряд технічних рішень і установок, які дозволяють професійно управляти ферментацією метану (виробництво біогазу) з екстрактів тварин (рис.1.1). У колекцію входять органічні відходи ферми (2). З нього вихідний субстрат з глибокої помпою (3) наносять на сепаратор грубих включень і змішування підкладки (4), а потім з дозуючим насосом (5) в метановий олово, забезпечений термостатичною системою, змішування, примусової евакуації і розвантаження. З резервуара для метану рідкі органічні добрива виводяться через вхід для води (7). Їх відторгнення можна використовувати для поверхневого і внутрішнього шкірного введення в культивування основних культур. Для отримання твердих добрив, які більш зручні для зберігання і транспортування, суміш подається в концентратор-змішувач (8), де його доводять до пастоподібного стану. Компост даної вологості виходить шляхом змішування з сорбентом - торфом, тирси тощо. Газ накопичується в газовому балоні низького тиску (10).

Близько 30% газу витрачається на підтримання температурного режиму в резервуарі метану. Пристрій працює в автоматичному режимі, оснащений системою керування і контролю. Експозиція процесу ферментації складає 6 - 12 діб.

1.2. Інформаційний аналіз технологічного процесу як об'єкта автоматизації з використанням параметричних схем

Український сільськогосподарський сектор, що виробляє значну кількість органічних відходів, потенційно володіє ресурсами для виробництва біогазу, здатним замінити 2,6 млрд. м³ ПГ / рік (теоретичний потенціал). З подальшим розвитком сільського господарства і широким використанням рослинної сировини (силосу, трави) цей потенціал можна оцінити за різними оцінками від 7,7 до 18 млрд. м³/рік в перерахунку на природний газ. У першому випадку передбачається використовувати 6% орних земель (50% без врожаю) землі в Україні для вирощування кукурудзи для біогазу з консервативним виходом 30 т/га. У той же час частка силосу кукурудзи з біогазу становить 53,0% від загального обсягу, від побічних продуктів і відходів виробництва - 5,7%, від побічних продуктів і відходів харчової промисловості - на 5,3%, від тваринницької галузі - 36% .

Другий варіант з більш високим прогнозом передбачає використання 7,9 млн. га вільних сільськогосподарських угідь для вирощування кукурудзи на біогазі з урахуванням збільшення врожайності.

Таблиця 1.1 показує потенціал виробництва біогазу на існуючих підприємствах АПК України та культивації силосу для кукурудзи для виробництва біогазу на 50% вільної орної землі (з виходом 40 тонн зеленої маси на 1 гектар і біогаз потужністю 180 м³ / т.

Потенціал виробництва біогазу в окремих галузях АПК України

Вид діяльності	Загальна кількість підприємств в Україні	Об'єм основної продукції	Загальний об'єм основних відходів	Потенціал виробництва біогазу від загального об'єму відходів/продукції	Частка економічно доцільного потенціалу
		тис. т (голів)	тис. т	млн м ³ /год.	на БГУ з міні-ТЕЦ від 0,1 МВт,
Всього по Україні	11667	-	39 727	9 543	54%
Цукрові заводи	60	1 546,0	23 263,5	975,5	46%
Пивоварні заводи	51	3 100,0	1 016,8	121,8	10%
Спиртові заводи	58	204,7	2 705,0	116,8	13%
Ферми ВРХ	5079	1 526,4	15 431,6	385,8	97%
Свиноферми	5634	3 625,2	5 656,7	160,3	30%
Птахофабрики	785	110 561,3	4 721,5	377,7	68%
Силос кукурудзи	Вирощування на 50% вільних орних земель	41 140,4	-	7 405,5	-

У 2021 році країна імпортувала в цілому близько 45 млрд. м³ природного газу. З них близько 40 млрд. м³ постачалися російським підприємством «Газпром» українському державному підприємству «Нафтогаз України». Решта газу (близько 5 млрд м³) постачалася компанією Ostchem Holding, яка видобуває газ для власних потреб з метою забезпечення своєї діяльності у хімічному секторі.

Загальний річний обсяг споживання природного газу в Україні у 2022 році становив приблизно 44,2 млрд. м³.

Перший великий біогазовий комплекс у відходах тваринництва з'явився в 1993 році на свинокомплексі заводу «Запоріжсталь» (таблиця 1.2). За останні 20 років в країні було реалізовано в цілому встановлена потужність близько 7 МВт по більш ніж десяткам різних проектів. Найбільші проекти включають в себе Українську молочну компанію (запуск 2003 роки),

біогазовий комплекс по переробці гною і кукурудзяного силосу з рекордною для України потужністю 1 МВт.

У вересні 2011 року будівництво біогазової установки на базі свинокомплексу в селі. Копанки, Івано-Франківська обл.

Таблиця 1.2.

Проекти БГУ в сільському господарстві України

Підприємство	Рік запуску	Поголів'я	Сировина	Об'єм сировини, тонн на добу	Об'єм реакторів, м ³	Потужність, кВт	Технологія
Свиноферма комбінату «Запоріжсталь», Запоріжжя	1993	12 000	Гній	20-22	595	-	Bigadan Ltd, Данія
Свиноферма корпорації «Агро-овен», Оленівка, Дніпропетровська область	2003	15 000	Гній, жири-ві відходи	80	2x1000	180	BTG, Нідерланди
Аграрна компанія «Еліта», Терезине, Київська область	2009	1 000	Гній	60	1 500	250	LIPP, ФРН
Ферма ВРХ «УМК», В. Крупіль, Київська область	2009	6 000	Гній	400	3x2400 + 1 000	955	«Зорг», Україна
Коньячний завод, м. Вознесенськ, Миколаївська обл.	2010		Силос кукурудзи	10	1200	125	Зорг, Україна, Німеччина

На сьогоднішній день в Україні введено в експлуатацію 10 біогазових установок загальною потужністю близько 7 МВт. Зелений тариф на біогаз не був схвалений, але в даний час існує декілька законопроектів, які як і раніше забезпечують «зелений тариф» на електроенергію, що виробляється з біогазу, в розмірі 0,1445 євро / кВт·г. За позитивного результату до 2024 року можна буде досягти виробництва на рівні 8 мільярдів кубометрів біогазу (що еквівалентно 350 МВт електроенергії або 500 МВт теплової енергії).

Сміттєзвалище, сільськогосподарські відходи і відходи тваринництва можуть служити в якості робочої біомаси. Метод видобутку біогазу ідентичний технології, використовуваної на аераційних станціях, і дає можливість виробляти горючий газ з теплотворною здатністю 5000 Ккал / м³. З огляду на, що в багатьох населених пунктах нашої країни (особливо в

сільській місцевості) недостатньо природного газу, але крім сировини для біогазу, таке альтернативне енергетичне рішення представляється досить універсальним.

Подібні установки для виробництва біогазу в Україні дуже перспективні і є нафтопереробними заводами, оскільки вони дозволяють обробляти відходи і запобігати накопиченню гниючих звалища поблизу основних галузей промисловості, природне бродіння яких призводить до викидів газів і виникнення пожеж. Утилізація супроводжується викидом енергії, яка може бути використана для подачі і перетворення побутового газу в електричну або теплову енергію (таблиця 1.3). Проекти з виробництва біогазу та його подальше використання в якості джерела енергії можуть не тільки підвищити рентабельність сільськогосподарських угідь, заощадити на використанні відходів і заробити надлишкове виробництво тепла і електроенергії, а й трансформувати недавно відокремлені виробничі процеси і енергопостачання в єдиний технологічний цикл.

Таблиця 1.3.

Вихід біогазу і вміст метану при використанні різних видів

Вихідна сировина	Вихід біогазу (на 1 кг сухої речовини), м ³ /кг	Вміст метану (CH ₄), %
Гній ВРХ	0,200 - 0,300	50
Гній свинячий	0,340 - 0,480	60...75
Кінський гній із соломюю	0,250	56...60
Бадилля картопляне	0,420	60
Стебла кукурудзи	0,420	53
Солома пшенична	0,342	58
Силос	0,250	84
Трава свіжа	0,360	52
Буряк	0,430	84
Тирса деревини	0,220	51
Твердий осад стічних вод	0,570	70
Фекальний осад	0,250 - 0,310	60
Домашні відходи і сміття	0,600	50

РОЗДІЛ 2

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ В БІОГАЗОВІЙ УСТАНОВЦІ

2.1. Аналіз фізико-хімічних процесів, що протікають в об'єкті автоматизації

Розрізняють шість видів ферментації біомаси, що проходять одночасно або послідовно: амонієва; азотна; така, що вивільняє азот, якій підлягають азотні складові сировини; окислювальна; кислотна; метанова, якій піддаються вуглеводні із сировини, зокрема целюлоза.

Особливої уваги заслуговує метанова ферментація, що вивільнює горючий газ метан, а також амонієва, продуктом якої є аміак у вигляді розчинних амонієвих солей.

Розпад целюлози у процесі метанового бродіння протікає наступним чином:



де n – кількість молекул або глюкозних залишків; H_2O – вода, $(C_6H_{10}C_5)$ – целюлоза, CO_2 – двоокис вуглецю, CH_4 – метан, $[J]$ – енергія (тепло).

У результаті розкладу вуглеводнів органічної речовини виникають низькомолекулярні сполуки. Розклад твердих складових сировини проходить тим швидше, чим нижчий ступінь їх полімеризації. Такі речовини, як цукор, крохмаль, геміцелюлоза, піддаються швидкому розпаду в анаеробному процесі (без доступу кисню), утворюючи відповідні органічні кислоти: оцтову, олійну, молочну тощо. При швидкому накопиченні цих кислот у бродильному середовищі настає уповільнення ферментації. Високополімерні речовини розкладаються повільніше, а згадані органічні кислоти утворюються більш поступово. Це явище є сприятливим, оскільки подібний перебіг ферментації

дозволяє отримувати досить велику кількість метану безперервно та рівномірно.

Метанізація цукрів у бродильному середовищі протікає за двома способами, кожен з яких включає по три фази.

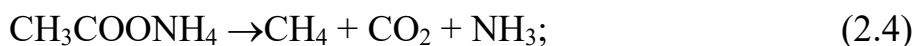
- утворення кислоти – цукор біохімічно перетворюється на жирову кислоту:



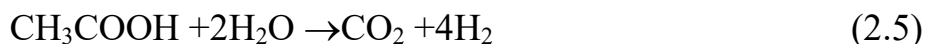
- утворення солі – жирова кислота реагує з основними компонентами з утворенням солі жирової кислоти:



утворення метану – сіль жирової кислоти розпадається з виділенням двоокису вуглецю та метану:



утворення газів — жирова кислота розпадається на двоокис вуглецю та водень:



утворення метану – двоокис вуглецю та водень сполучаються, утворюючи метан:



Не вся органічна сировина потребує проходження трьох фаз ферментації. Багато відходів, наприклад виділення тварин, відразу після появи містять велику кількість частково розкладеної речовини, що підлягає проходженню наступних фаз процесу ферментації. Водночас деякі органічні сполуки рослин (наприклад лігнін) і всі неорганічні складові не піддаються зброджуванню. Вони являють собою інертну в цьому процесі масу та утворюють шлам, здатний засмітити систему. Близько 95% маси, якою заповнений біогазогенератор при зброджуванні, складає вода.

Ефективний перебіг метанової ферментації органічних речовин потребує виконання чотирьох основних умов: безкисневої атмосфери;

відповідної температури або лужній маси; або лужній реакції середовища; присутності бактерій, що виробляють метан.

Дуже важливим фактором ефективного протікання процесу ферментації є температура маси, що зброджується. Метанова ферментація починається при температурі 6°C. При нижчій температурі виділення метану припиняється. Одночасно із зростанням температури швидко збільшується кількість газу, що виділяється. Так, при температурі 30°C виділення біогазу відбувається в 12 разів швидше, ніж при температурі 10°C.

При використанні мезофільних бактерій раціональним температурним режимом вважають 30-35°C, термофільних бактерій – 55-60°C. Термофільні бактерії більш продуктивні, ніж мезофільні. Вони протягом часу експозиції (12-14 днів) мінералізують стільки ж органічних речовин, скільки мезофільні бактерії за 21-36 днів. Завдяки цьому при однаковій кількості виробництва біогазу за день місткість ферментаційних резервуарів може бути значно меншою. Час експозиції залежить також від виду матеріалу, що завантажуються. Органічні речовини розпадаються з різною швидкістю. Найдовший час експозиції буде при підвищеному вмісті целюлози та геміцелюлози, більш короткий – у випадку наявності в сировині білків та жирів, а найкоротший – для доби. У випадку вмісту речовин, що важко розкладаються (таких як целюлоза, геміцелюлоза та лігнін), можна застосовувати двоступеневу ферментацію. Прискорити процес можна шляхом подрібнення або розведення маси. Разом з тим, враховуючи підтримання більш високої температури маси, що бродить, витрати теплової енергії при реалізації термофільних процесів є значно вищими. При низькій температурі навколишнього середовища та недостатній ізоляції резервуару витрати теплової енергії можуть бути настільки великими, що біогазу, який виробляється, не вистачить для обігрівання бродильної маси. У зв'язку із цим в європейських кліматичних умовах ферментаційні камери звичайно працюють у мезофільному діапазоні температур, тобто при 35 – 37°C.

Суттєве значення в процесі бродіння мають мікроорганізми. Для забезпечення метанової ферментації необхідна наявність в речовині метаногенних організмів, а саме *Bacillus perfringens*. Ці мікроорганізми розвиваються лише у сприятливих умовах – в анаеробному середовищі у лужній реакції при температурі 6-70°C. Для поліпшення протікання ферментації необхідне прищеплення відповідних колоній бактерій. Бажано також стимулювати початок ферментації шляхом додавання вже ферментованого субстрату, тобто прищепити сировині бактерії відповідного штаму, які реалізують цей процес. З метою уніфікації температури органічної речовини, що піддається ферментації, а також розповсюдження мікроорганізмів в біомасі проводять систематичне її перемішування. Перемішування зароджуваної речовини попереджає місцеву ферментацію, що викликається патогенами. Ферментація біомаси, як правило, проходить три етапи: гідролізу, кислої та метанової ферментації. Через те, що процес відбувається завдяки бактеріям, їм необхідно створити відповідні умови, а саме:

- температуру, оптимальну для даного штаму бактерій;
- час експозиції, визначений за часом притоку сировини до біогазового реактору (його підбирають так, щоб попередити вимивання бактерій з місткості);
- відповідне завантаження порцією додаткових матеріалів (надто високе призводить до перевантаження системи, а надто мале – до згасання реакції);
- вміст інгібіторів процесу, таких як антибіотики або засоби охорони рослин. Важливими умовами є збереження постійної температури під час протікання процесу в усьому об'ємі резервуару.

Всі побудовані на даний момент біогазові установки, як господарські, так і промислові, відрізняються великим різноманіттям специфічних виробничих, технологічних та технічних рішень.

2.2. Математичний опис теплових процесів в біореакторі

Об'єкт математичного моделювання (рис. 2.1) складається з чотирьох ємностей здатних акумулювати теплоту (корпус резервуара, біомаса, теплоносій, поверхневий підігрівач) і має бути описаний рівнянням четвертого порядку.

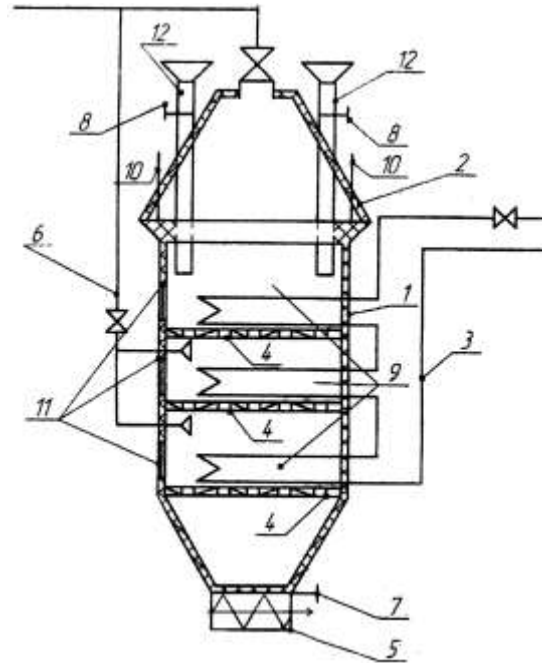


Рис. 2.1. Біогазовий реактор з безперервним циклом бродіння:

1 – корпус, 2 – ковпак, 3 – підігрівач, 4 – решітка, 5 – шнек виводу біодобрив, 6 – труба виводу біогазу, 7,8 – заслінки, 9 – резервуар, 10 – напрямні ковпака, 11 – оглядові вікна, 12 – отвір для завантаження субстрату

Для пониження порядку диференційних рівнянь приймаємо такі спрощення і припущення:

- теплоємність стінки нагрівача можна розподілити порівну між теплоносієм і субстратом (одну половину додати до ємності субстрату, другу ємності теплоносія);

- теплову ємність стінки корпусу також можна віднести до субстрату, враховуючи масу останнього.

За таких умов біореактор можна представити, як двоємнісний об'єкт і описати його двома диференціальними рівняннями:

$$\left\{ \begin{array}{l} M_c \cdot C_c \cdot \frac{\partial \theta}{\partial \tau} + C_c \cdot G_c \cdot H \frac{\partial \theta}{\partial x} = \alpha \cdot f \cdot (t - \theta) - K \cdot F \cdot (\theta - t_3), \end{array} \right. \quad (2.7)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} M_t \cdot C_t \cdot \frac{\partial t}{\partial \tau} + C_t \cdot G_t \cdot H \frac{\partial t}{\partial x} = \alpha \cdot f \cdot (t - \theta), \end{array} \right. \quad \vdots \quad (2.8)$$

де:

θ, t, t_3 – температура субстрату, теплоносія і зовнішнього середовища,

$M_c \cdot C_c, M_t \cdot C_t$ – теплова ємність субстрату і теплоносія,

$C_c \cdot G_c, C_t \cdot G_t$ – тепловий еквівалент субстрату і теплоносія,

α, K – коефіцієнт тепловіддачі від теплоносія до субстрату і коефіцієнт теплопередачі крізь стінку корпусу,

f, F – поверхня нагрівача і корпусу.

Оскільки для стабілізації температури теплоносія і субстрату як регулюємі параметри використовують їхні вихідні значення ($t_{вих}, \theta_{вих}$), то приймаючи мінімальне значення змінення температури t і θ в напрямку руху, тобто $\frac{\partial \theta}{\partial x} \cong \frac{\Delta \theta}{\Delta x} = \frac{\theta_2 - \theta_1}{H}$; $\frac{\partial t}{\partial x} \cong \frac{\Delta t}{\Delta x} = \frac{t_2 - t_1}{H}$, систему (1) – (2) можна представити у

вигляді:

$$\left\{ \begin{array}{l} M_c \cdot C_c \cdot \frac{d\theta_2}{d\tau} = C_c \cdot G_c \cdot (\theta_1 - \theta_2) + K_t \cdot F_t \cdot (\bar{t}_T - \bar{\theta}_c) - K_k \cdot F_k \cdot (\bar{\theta} - t_3) \end{array} \right. \quad (2.9)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} M_t \cdot C_t \cdot \frac{dt_2}{d\tau} = C_t \cdot G_t \cdot (t_1 - t_2) - K_t \cdot F_t \cdot (\bar{t}_T - \bar{\theta}_c) \end{array} \right. \quad (2.10)$$

де:

M_c, G_c – маса субстрату і пропускна здатність реактора відповідно кг, кг/с, відповідно;

M_t, G_t – маса теплоносія в теплообміннику і його витрати кг, кг/с,

C_c, C_t – питома теплоємність субстрату і теплоносіїв,

K_t, K_k – коефіцієнт теплопередачі теплообмінника і корпусу Вт/м²·°С,

F_t, F_k – поверхня теплообміну теплообмінника і корпусу м²,

t_2, θ_2 – температура теплоносія і субстрату на виході °C, t_3 – температура зовнішнього середовища °C, $\bar{t}_T = 0.5 \cdot t_1 + 0.5 \cdot t_2$; $\bar{\theta}_c = 0.5 \cdot \theta_1 + 0.5 \cdot \theta_2$ – середні значення температур °C.

Основні розрахунки виконаємо в середовищі MathCad.

Вхідні параметри:

- Температура теплоносія (води в трубопроводі), °C: $t_1=90$
- Температура субстрату, °C: $\theta_1=15$
- Температура зовнішнього середовища, °C: $t_z=10$
- Коефіцієнти теплопередачі теплообмінника, Вт/м²* °C $K_t=154$
- Коефіцієнт теплопередачі стінок біореактора (0,8...1,5), Вт/м²* °C

$K_k=1.2$

- Маса теплоносія в теплообміннику, кг: $M_t=300$
- Маса субстрату в біореакторі, кг: $M_c=10000$
- Питома теплоємність субстрату, Дж/кг* °C: $C_c=4200$
- Питома теплоємність теплоносія, Дж/кг* °C: $C_t=4190$
- Пропускна здатність біореактора, кг/с: $G_c=0,01$
- Витрати теплоємності в теплообміннику, кг/с: $G_t=0,012$
- Поверхня теплообміну в теплообмінника, м² $F_t=3$
- Поверхня теплообміну стінок біореактора, м² $F_k=16$
- Час проходження анаеробного бродіння субстрату в біореакторі (при повному завантаженні реактора), кг: $\tau=0...200$

Розрахунок:

1. Розрахуємо допоміжні коефіцієнти:

$$a_1 := \frac{G_c C_c + 0.5 \cdot (K_t \cdot F_t + K_k \cdot F_k)}{0.5 \cdot K_t \cdot F_t} = 5.88 \times 10^9$$

$$b_2 := \frac{G_t \cdot C_t - 0.5 \cdot K_t \cdot F_t}{0.5 \cdot K_t \cdot F_t} = 1.676 \times 10^4$$

$$T_1 := \frac{M_c \cdot C_c}{0.5 \cdot K_t \cdot F_t} = 1.4 \times 10^{10}$$

$$T_2 := \frac{M_t \cdot C_t}{0.5 \cdot K_t \cdot F_t} = 4.19 \times 10^8$$

$$A := T1 \cdot T2 = 5.866 \times 10^{18}$$

$$B := a1 \cdot T1 + a2 \cdot T2 = 8.232 \times 10^{19}$$

$$D := (a2 + b2) \cdot t1 + (a2 \cdot b2) \cdot \theta1 + a2 \cdot Kk \cdot Fk \cdot tz = 4.22 \times 10^9$$

$$B1 := (a1 + a2 + T1) \cdot 2 + (b1 \cdot b2 + 1) \cdot 2 = 1.971 \times 10^{14}$$

$$D1 := (a1 \cdot b1 + 1) \cdot t1 + (a1 + b1 + a1 \cdot a2) \cdot \theta1 + a1 \cdot Kk \cdot Fk \cdot tz = 3.112 \times 10^{21}$$

$$C1 := [(a1 \cdot a2 + 1) + (b1 \cdot b2)] \cdot 2 + (b1 \cdot b2) = 4.927 \times 10^{14}$$

Знаходимо корені характеристичного рівняння:

$$r1 := \frac{-B + \sqrt{B1^2 - 2 \cdot A \cdot C1}}{4 \cdot A} = -3.508 + 3.24i \times 10^{-3}$$

$$r2 := \frac{-B - \sqrt{B1^2 - 2 \cdot A \cdot C1}}{4 \cdot A} = -3.508 - 3.24i \times 10^{-3}$$

Для створення моделі в системі Simulink MATLAB використовуємо систему рівнянь рівняння:

$$\begin{cases} McCc \frac{d\theta_2}{d\tau} = CcGc(\theta_1 - \theta_2) + KtFt(\bar{t}_\tau - \bar{\theta}_c) - KkFk(\bar{\theta} - t_3); \\ MtCt \frac{dt_2}{d\tau} = CtGt(t_1 - t_2) - KtFt(\bar{t}_\tau - \bar{\theta}_c); \end{cases}$$

За допомогою блоків Constant введемо необхідні дані для вирішення системи рівнянь (3.20), значення параметрів Mc, Mt, Gt, Gc, Cc, Ct, Kt, Kk, t₁, θ₁, t₃(t_{zc}). Використовуючи блоки Sum і Product сформуємо праві частини рівнянь. Для обчислення використаємо додаткові блоки Gain. Результати обчислень правих частин рівнянь посилаємо на блоки розв'язку цих рівнянь Integrator. Початкові значення для цих блоків по обчисленню, візьмемо t₁=90°C – початкова температура теплоносія і θ₁=15 – початкова температура теплоносія субстрату. Якщо ми помилилися спочатку з вибором величин цих

параметрів, то пізніше їх можна виправити. Початкове нульове значення цих параметрів може призвести до помилки.

Для виведення результатів обчислень температури t_2 і θ_2 використаємо блоки осцилографів Scope, значення виводимо через блоки Display. В якості сталої часу об'єкту вибираємо, раніше визначений час стабілізації процесу – 16 год., для кращої наочності беремо більший час 22 – 23 годин, перевівши в секунди - час моделювання дорівнює $\tau=80000$ с. Для цього в параметрах моделювання Simulation→Simulation Parameters у вікні Stoptime введемо число 80000 секунд. Такий самий час треба встановити і на вкладці параметрів General блоку Scope у вікні команди Time range.

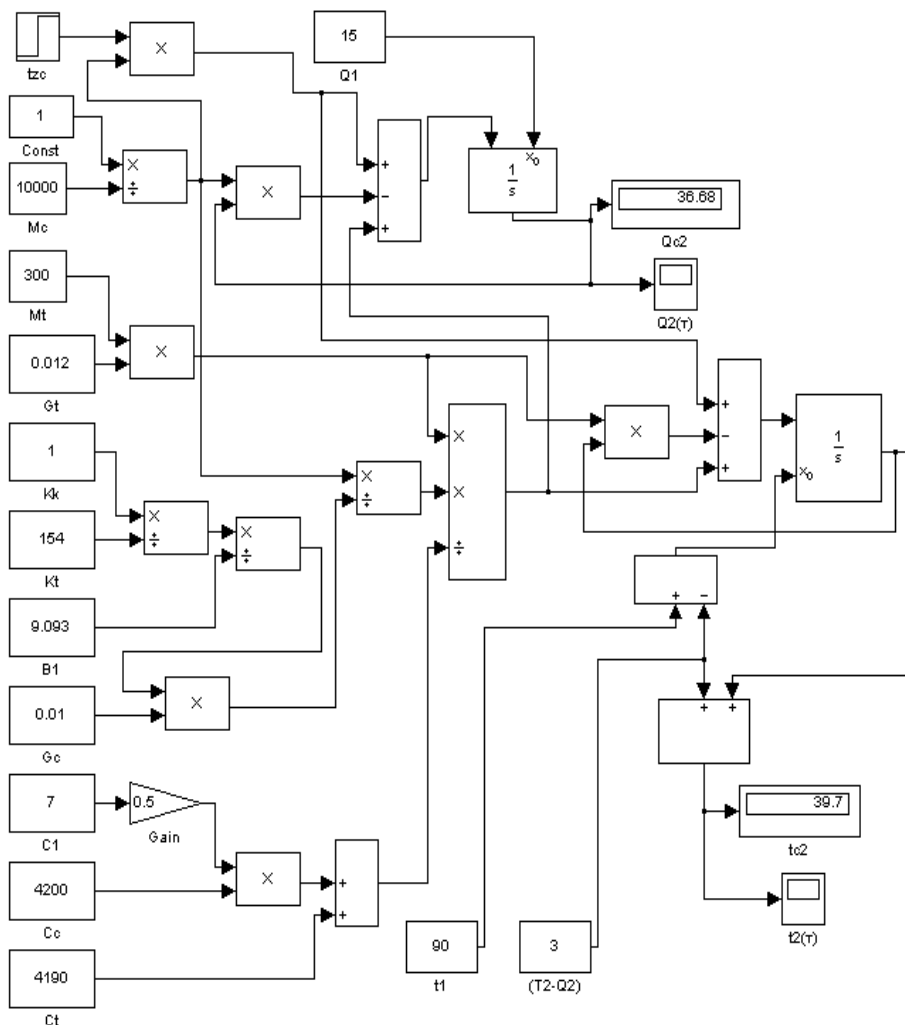


Рис. 2.2. Схема моделі нагрівання субстрату(θ) при охолодженні теплоносія(t) в блоках SimulinkMATLAB

Для запуску моделі клацнемо мишкою на кнопці запуску, або виконаємо команду **Start** меню **Simulation**. Щоб побачити результати обчислень, двічі клацаємо на блоках **Scope(Q2(τ), t2(τ))** і побачимо вікна графіків цих блоків. Якщо масштаб виведення невірний, то клацнувши на кнопці меню **Autoscale**, автоматично встановимо масштаб осі.

На рис. 2.3 показані розгінні криві зміщення в часі температури теплоносія (А) і субстрату (Б).

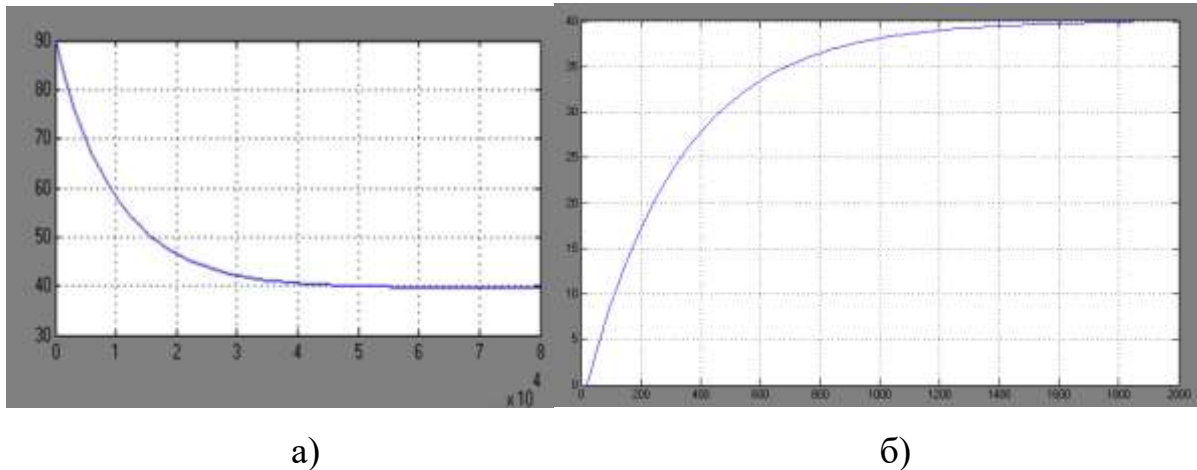


Рис. 2.3. Розгінні характеристики в часі температури теплоносія (а) і субстрату (б)

2.3. Аналіз динаміки та визначення передаточної функції об'єкта керування

Для підігрівання субстрату і підтримання його температури на потрібному рівні в біореакторах встановлюють нагрівальні пристрої. В першому наближенні припустимо прийняти для розрахунків потреб в теплі таку величину: 1кг субстрату нагрівається на 1°C при передачі йому 4200 Дж тепла. Теплота витрачається на підігрів маси і компенсацію теплових втрат. До теплообмінників систем біоконверсії висувуються такі вимоги: вони повинні бути компактні і не забирати простір реактора; їх поверхня повинна мати мінімальну шорсткість і запобігати налипанню часток

середовища; повинні гнучко керуватися ззовні і мати невелику теплову інерційність .

Мезофільний режим зброджування, як це підтверджено численними дослідженнями і практикою експлуатації установок, протікає найбільш інтенсивно в температурному інтервалі 32...42°C . При цьому найбільш активно «працюють» метаногенні бактерії з максимальним утворенням біогазу. Підігрівання і підтримування стабільної температури зброджування здійснюється, як правило, прокачуванням нагрітої води через спеціальні теплообмінники, що змонтовані в біогазовій установці. Нагріту воду одержують у котельному агрегаті, використовуючи для його роботи частину виробленого біогазу, витрати якого складають 30 – 40% загального виходу.

Отже, визначення складових теплового балансу біогазової установки та тепловтрат через захисні конструкції при різних режимах зброджування залежно від зовнішніх температур є актуальною задачею.

Величина тепловтрат із внутрішнього середовища Q_B (Вт) характеризується термічним опором матеріалу захисних конструкцій, різницею температур між внутрішнім і зовнішнім середовищем реактора та обчислюються за формулою

$$Q_B = \alpha_T * (T_B - T_3) n_1 * F_B * \eta_n$$

де $\alpha_T = \frac{1}{R}$ коефіцієнт теплопередачі захисних конструкцій реактора, Вт/(М²*°С);

R - термічний опір теплопередачі матеріалу захисної конструкції та тепловіддачі з обох боків захисних конструкцій , (М²*°С)/Вт;

$(T_B - T_3)$ - розрахункова різниця між внутрішньою та зовнішніми температурами, °С;

n_1 - поправний множник , що враховує зменшення розрахункової різниці температур для захисних конструкцій біогазової установки (для даного випадку $n=1$);

F_B – площа поверхні захисної конструкції біогазовою установкою , м² ($F_B=1\text{м}^2$);

η_n - коефіцієнт, що враховує додаткові тепловтрати, можна помірно замінюватись від впливу сонячного випромінювання, інфільтрації та ексфільтрації $\eta_n = 1$;

З рівняння теплового балансу по загальновідомій методиці визначимо передаточну функцію об'єкта. По каналу регулювання температури біогазова установка являє собою інерційну ланку першого порядку і ланкою чистого запізнення:

$$W(s) = \frac{K_0}{T_0 s + 1} e^{-s\tau_0}$$

Визначимо передаточну функцію нашого об'єкта керування, відповідні коефіцієнти візьмемо з додатку 1 таблиця 1:

$$W_{ov}(s) = \frac{0.2}{320 * s + 1} e^{-s20}$$

Для підтвердження аналітично отриманих даних постійної часу та часу запізнення із експериментальними даними побудуємо нормовану розгінну характеристику. Із розгінної характеристики, що на рис. 2.2 визначаємо дані таблиці 2.1 для передаточної функції об'єкта керування. Для цього через кожні 50 секунд вимірювали температуру повітря з 0 до 37 °С

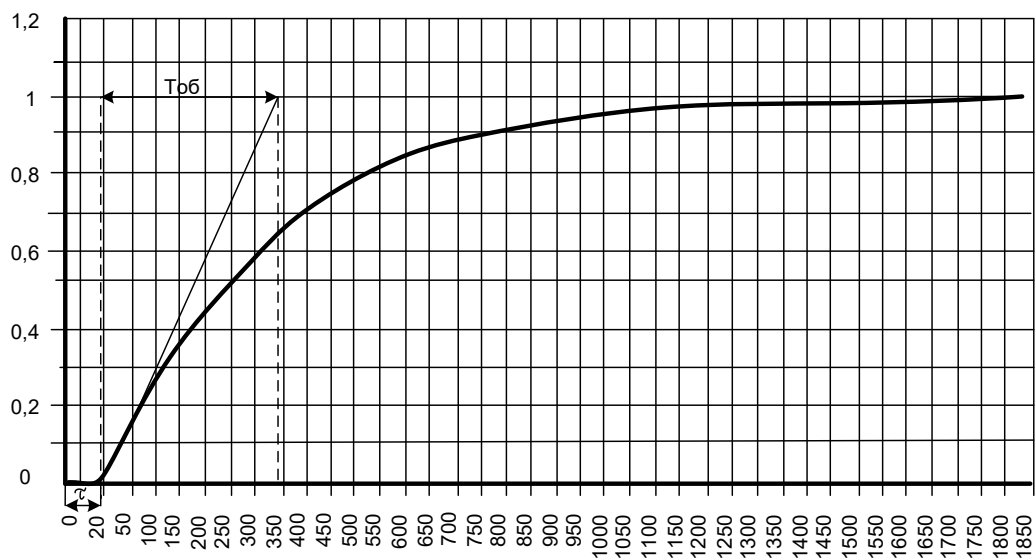


Рис. 2.4. Розгінна нормована характеристика об'єкта керування

РОЗДІЛ 3

ВИБІР РЕГУЛЯТОРА ТА ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЙОГО НАЛАШТУВАНЬ

3.1. Функціональна схема автоматизації системи керування температурним режимом виробництва біогазу

Біогазові установки - це комплекси з утилізації різних видів відходів, зокрема сільськогосподарських, промислових і повсякденних, які не тільки очищають території від забруднень, а й виробляють електроенергію, тепло та добрива високого рівня.

Біогазові установки мають три способи переробки органічних речовин, кожен з яких має свої плюси та мінуси.

У психрофільному режимі, коли доцільна температура в середині метаннику становить 15-20°C, очищення відходів може бути досягнуто протягом 30-40 днів. Цей метод зазвичай використовується в літні місяці, коли об'єм субстрату значно менший за звичайний, наприклад, через випасання худоби.

Мезофільний режим - це режим переробки відходів при температурі 30-40 °C, при якому відходи переробляються за 7-15 днів, залежно від їх виду. Однією з переваг такого режиму є те, що ефективність газу майже не зменшується при незначних відхиленнях температури від оптимальної, і для підтримки температури потрібно менше енергії. Однак, недоліки полягають у менш ефективному виділенні газу та тому, що біошлам, одержаний за такого режиму, не є повністю чистий.

Термофільний режим потребує температури 52-56°C і надійно переробляє органічні відходи за 5-10 днів, але рівень якості газу та добрив переважно нижча, чим у мезофільному режимі. Нагрівання в термофільному режимі також зазвичай потребує більше енергії. Цей режим найбільш

підходить, коли основною метою є переробка дуже великої чисельності відходів.

Вимоги до температури субстрату для ефективного виробництва газу стають жорсткішими з підвищенням температури ферментації: $\pm 1^{\circ}\text{C}$ на годину в мезофільному режимі, $\pm 2^{\circ}\text{C}$ на годину в психофільному режимі і $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ на годину в термофільному режимі. Відокремлюють два типи устаткування, перший це періодичної, другий безперервної дії. Для мого проекту я обрав БГУ безперервної дії з одним із режимів, а саме - мезофільним. В фундамент конструкції закладено ціль формування біогазового реактора, в якому завдяки введення нових складових і зв'язків здобуємо зростання продуктивності біогазового реактора і заощадження часу при виробленні біогазу (рис. 3.1).

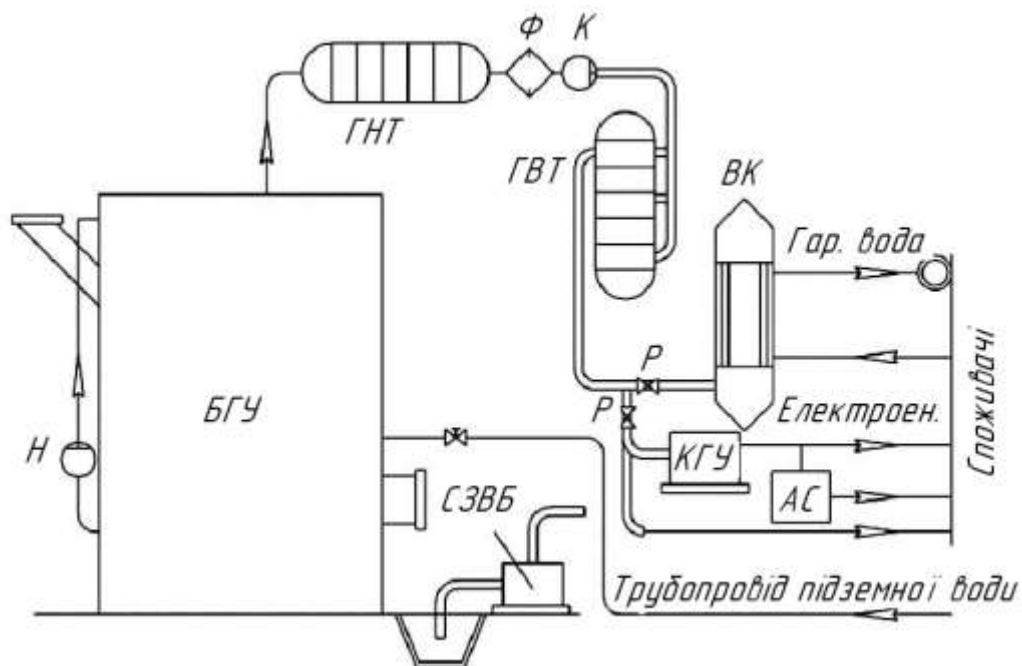


Рис. 3.1. Схема установки когенерації зі системою накопичення енергії:

БГУ – біогазова установка; ГНТ – газгольдер низького тиску; ГВТ – газгольдер високого тиску; Ф – фільтр; К – компресор; Н – насос; СЗВБ – система завантаження/розвантаження біомаси; ВК – водогрійний котел; КГУ – когенераційна установка; Р – регулятор тиску; АС – акумуляуюча система

Процес роботи біогазової установки включає в себе подачу органічної біомаси в установку і переробку її в біогаз за підтримки водяної бані. Для

цього процесу використовується нагріта вода з водогрійного котла. Потім біогаз надходить до фільтру і під'єднується до ГНТ і ГВТ, після чого прямує в когенераційну установку, де формується тепло та електроенергія. Електроенергія зберігається в накопичувальній системі, а тепло й електрика постачаються споживачеві. Установка демонструє досить велику економічну ефективність та швидкий термін окупності.

Установка має вбудовану систему керування та контролювання і робить повністю автоматично. Для забезпечення оптимальної температури близько 30 % біогазу використовується в метантенку. Процес ферментації зазвичай триває від 6 до 12 днів. Тепло, що виробляється дизельним генератором, споживається енерготехнологічною установкою ферми.

Система автоматичного контролювання температурою субстрату в біореакторі дає точний контроль біосубстрату за заданої температури (15-60°C). Це поліпшує процес ферментації та збільшує кількість виробництва газу. Для досягнення такого результату використовується регулювання об'єму нагрітої води в теплообміннику.

Основним збурювальним впливом на керований об'єкт, що спричиняє перемену температури біомаси в реакторі за постійного значення керовального впливу $\varphi_{кр} = const$ є атмосферний стан $f(t)$ (температура навколишнього середовища).

В середині біореактору $\Theta(t)$ температура біомаси є основною змінною, якою керують в цьому об'єкті.

Таким чином, схема для керування температурою в біореакторі матиме наступний вигляд (рис. 3.2):

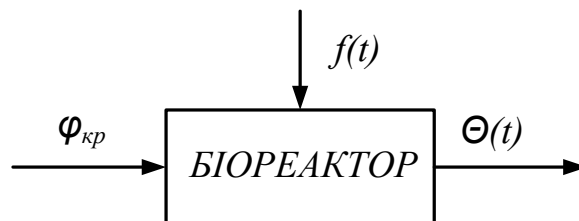


Рис. 3.2. Інформаційна схема біореактора

Головною метою системи автоматичного керування (рис. 3.3) є забезпечення сталої температури біомаси $\Theta_0(t)$ в біореакторі, згідно з встановленим значенням.

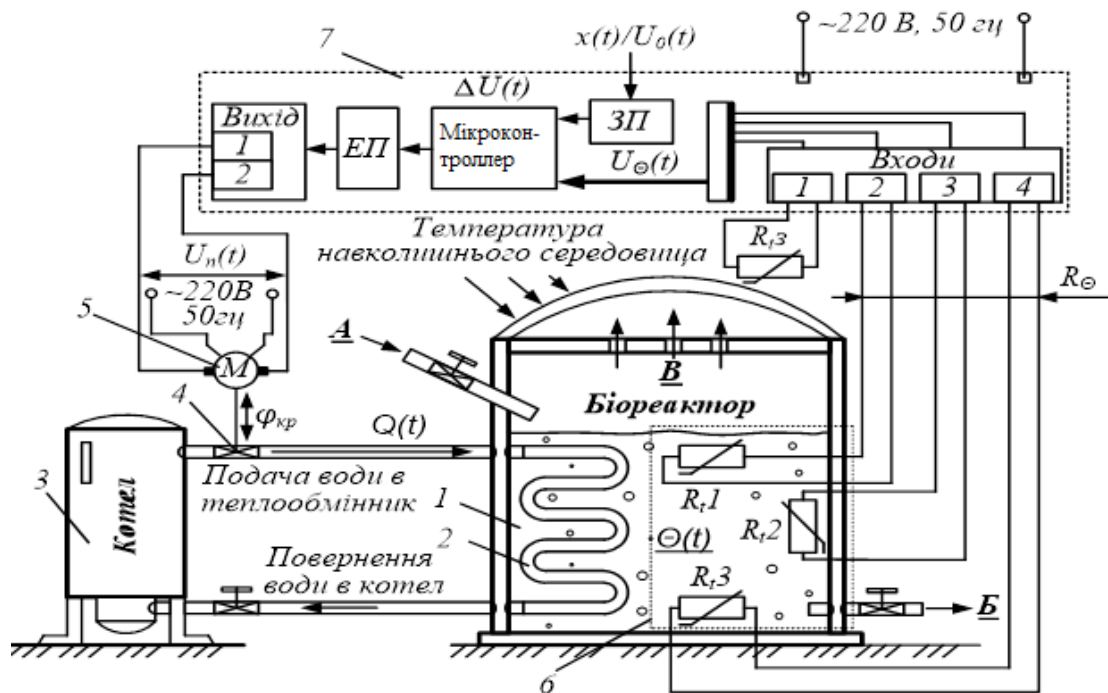


Рис. 3.3. Функціональна схема автоматизації керування температурою субстрату в модульній установці біогазу:

1 – біомаса; 2 – теплообмінник; 3 – водогрійний котел; 4 – регулюючий клапан; 5 – електродвигун регулюючого клапана; 6 – комплект терморезисторів; 7 – автоматичний керуючий пристрій (АКП); А – завантаження субстрату в реактор; Б – вивантаження перебродженої біомаси, в сховища для біодобрив; В – вихід біогазу

Об'єктом керування (ОК) в системі автоматичного керування (САК) є модульний біореактор (ферментатор). Регульованою величиною ОК, і вихідним параметром системи є температура біомаси $\Theta(t)$ в біореакторі. Стабілізація дійсного значення температури $\Theta(t)$ відповідно до заданого $\Theta_0(t)$ здійснюється САК шляхом подачі гарячої води у теплообмінник 2, який знаходиться на стінках ферментатора. Кількість подачі гарячої води $Q(t)$ регулюється клапаном 4 з електроприводом, який приводиться в дію електродвигуном 5. Таким чином, клапан 4 є регулюючим органом (РО), а електродвигун 5 – виконавчим механізмом (ВМ).

Функціональна схема автоматизації системи керування температурним режимом виробництва біогазу зображена на рис. 3.4.

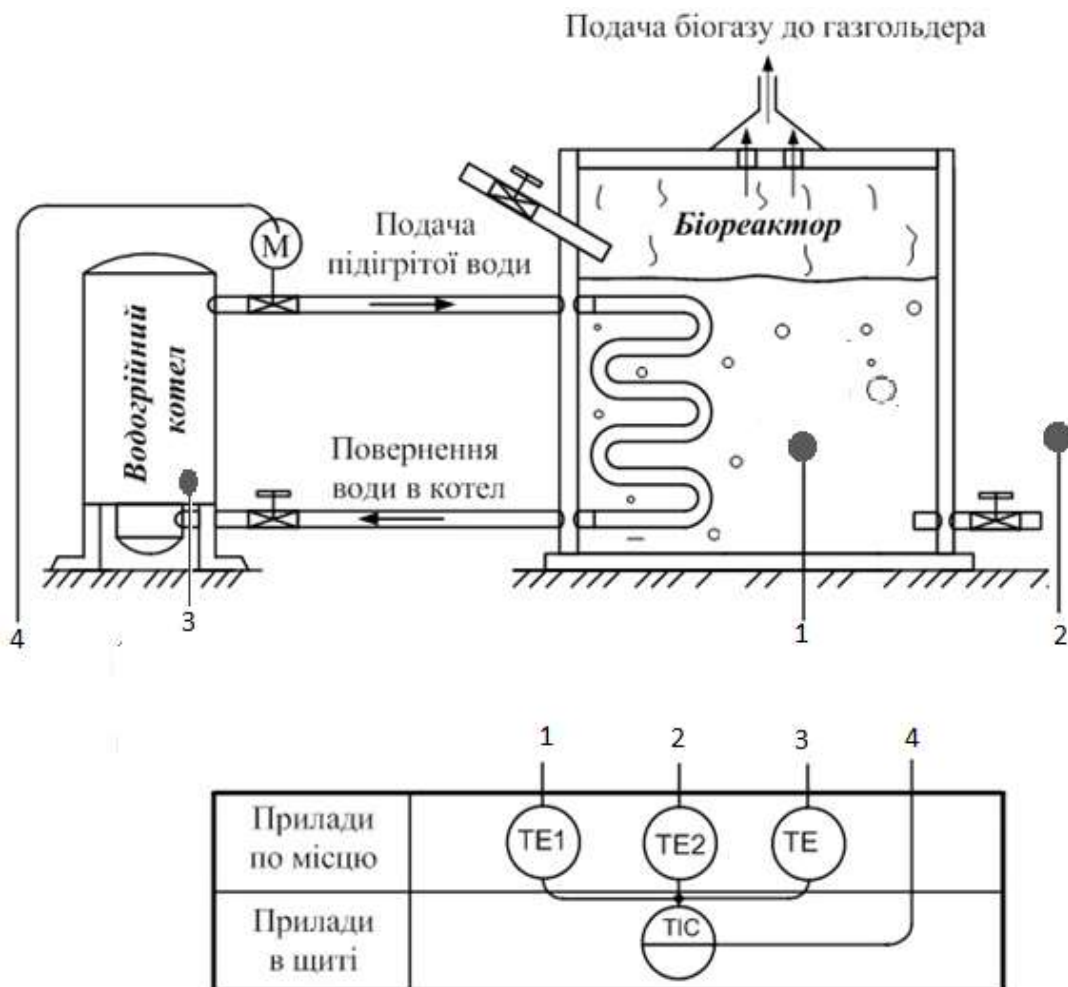


Рис. 3.4. Функціональна схема автоматизації системи керування температурним режимом виробництва біогазу

3.2. Вибір первинного перетворювача

До датчиків як правило, ставлять наступні вимоги:

- лінійність і однозначність статичної характеристики (допустима не лінійність не повинна перевищувати 0,1...3 %);
- високу чутливість;
- стабільність характеристик у часі;
- швидкодія;
- стійкість до хімічних впливів контролюючого і навколишнього середовища (первинні перетворювачі, розміщені у захисній оболонці);
- мінімальний зворотній вплив на контролюючий параметр;
- зручність монтажу і обслуговування.

Вимірювальні перетворювачі, що входять до складу регулятора, вибирають як правило в два етапи:

- на першому етапі за типом контрольованого параметра об'єкта управління й умовами його роботи визначається різновид перетворювача;
- на другому етапі після вибору всіх елементів регулятора за каталогами, знаходять його типорозмір.

Датчик рекомендується підбирати таким чином, щоб межі його вимірювання охоплювали діапазон зміни контрольованої ним величини X і були як найближчими до них, не забуваючи про необхідність забезпечення необхідної перевантажувальної здатності датчика і про можливість його підключення до обраного електронного пристрою управління регулятора. При цьому особливу увагу необхідно приділяти швидкодії, чи інерційності вимірювального перетворювача, яка характеризується його постійною часу T .

Так, при обґрунтуванні вибору датчика температури для регулятора температури повітря в телятнику необхідно в першу чергу звернути увагу на те, який діапазон зміни температури повітря відповідно до технічних умов повинна забезпечити спроектована система регулювання.

Діапазон регулювання температури субстрату в біогазовій установці складає (30...55)°С. Для цього діапазону можна вибрати межі вимірювання мідного термометра опору ТСМ 50 (див. таблицю 2.3), які складають (-50...150)°С. Інерційність цього перетворювача складає 15 с. Для того, щоб цей перетворювач у процесі вимірювання температури повітря на заданому рівні не вносив недопустиму динамічну похибку вимірювання температури, його постійна часу T_{CE} повинна бути не менше, ніж на порядок меншою від постійної часу об'єкта T_{OU} . Постійна часу біогазової установки T_{OU} , складає 320с. З огляду на сказане вище, максимальна постійна часу вимірювального перетворювача, при якій можна знехтувати його інерційністю, повинна бути не більше $T_{OU}/10= 32с$, а постійна часу вибраного датчика температури ТСМ 50 рівна 15 с.

Вибраний нами датчик температури ТСМ 50 має наступний зовнішній вигляд – рис. 3.5. і статичну характеристику – рис. 3.6.

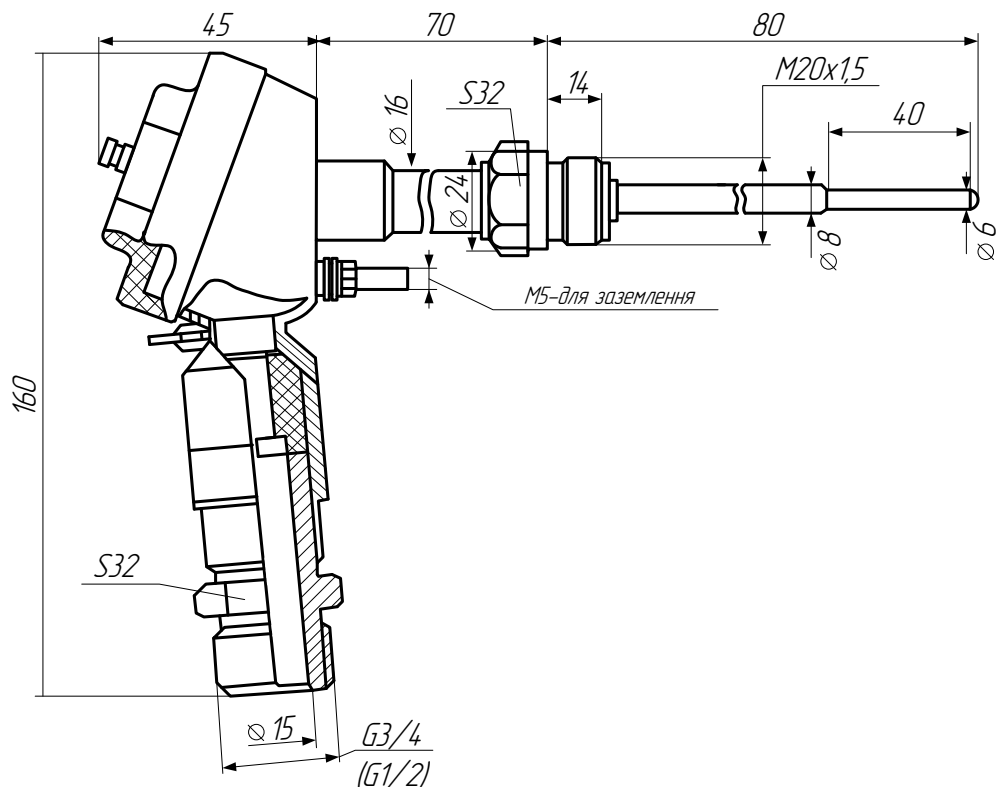


Рис. 3.5. Загальний вигляд датчика ТСМ 50

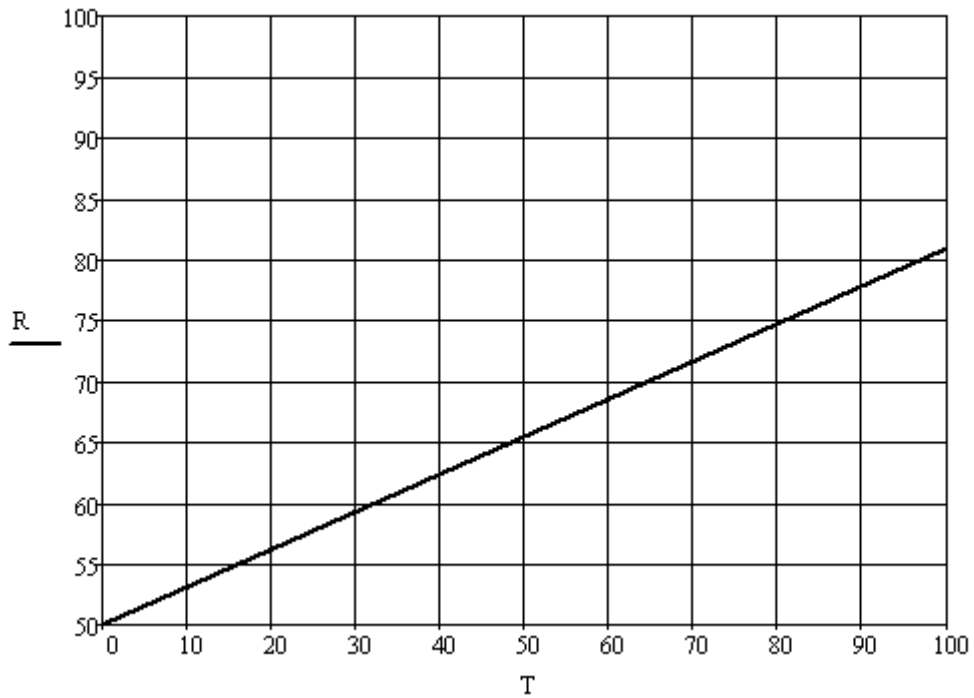


Рис. 3.6. Статична характеристика датчика ТСМ 50

Таблиця 3.1.

Характеристика датчика температури ТСМ 50

Тип	Градуювання	Діапазон вимірювання °С	Показник теплової інерції
ТСМ 50	24 гр.(R ₀ = 50 Ом)	-50...+150	15с

За динамічними властивостями термометри опору є інерційними ланками, передаточна функція яких має вигляд:

$$W(s) = \frac{k}{T \cdot s + 1} \quad (3.1)$$

Передатну функцію датчика температури типу ТСМ 50 знаходимо наступним чином:

$$m_D \cdot C_D \frac{d\Delta\Theta_D}{dt} = \alpha_D \cdot F_D \cdot (\Delta\Theta_{не} - \Delta\Theta_D) \quad (3.2)$$

де: m_D - маса датчика, кг;

C_D - теплоємність датчика, кДж/кг °С;

α_{δ} - коефіцієнт теплопередачі, кДж/кг °С;

F – поверхня теплообміну, м²;

θ_{δ} - температура датчика, °С;

$\theta_{не}$ - температура субстрату, °С.

$$R_{\delta} = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta\Theta_{\delta}) \quad (3.3)$$

де: R_0 - опір датчика при 0°С, Ом;

α - термічний коефіцієнт для міді, приймаємо $\alpha = 4,26 \cdot 10^{-3}$.

Записавши рівняння (2.3) у відхиленнях одержимо:

$$\Delta R_{\delta} = \alpha \cdot R_0 \cdot \Delta\Theta_{\delta} \quad (3.4)$$

Після виконання певних перетворень отримаємо:

$$\frac{m_{\delta} \cdot C_{\delta}}{\alpha_{\delta} \cdot F_{\delta}} \cdot \frac{d\Delta R}{dt} + \Delta R = \alpha \cdot R_0 \cdot \Delta\Theta_{\delta} \quad (3.5)$$

В канонічній формі це рівняння має вид:

$$T \cdot \frac{d\Delta R}{dt} + \Delta R = k \cdot \Delta\Theta_{\delta} \quad (3.6)$$

де:

$$T = \frac{m_{\delta} \cdot C_{\delta}}{\alpha_{\delta} \cdot F_{\delta}} \quad k = \alpha \cdot R_0 \quad (3.7)$$

Для датчика ТСМ 50:

$$K = 4,26 \cdot 10^{-3} \cdot 50 = 0,21 ;$$

$T = 15$ с – визначили як показник теплової інерції. Тоді передаточна функція має вигляд:

$$W_{\delta}(s) = \frac{0.21}{15 \cdot s + 1} \quad (3.8)$$

3.3. Вибір та розрахунок параметрів виконавчих механізмів об'єкта керування

Регулюючі клапани є найбільш часто використовуваними елементами, цілеспрямовано впливають на виробничі процеси та керування ними. Клапани є проміжною ланкою між електронними технологіями керування та керованим (робочим) середовищем. Вони, регулюючи параметри робочого середовища, контролюють безперервне протікання виробничого процесу і пов'язують між собою його окремі фази. Інші регулюючі клапани, що використовуються, наприклад в нагрівальній-охолоджувальних контурах, не так суттєво впливають на процес.

Промислові регулюючі клапани, з одного боку, є учасниками цифрового обміну даними про протікання технологічного процесу, а з іншого, - самі здійснюють промисловий процес. За часів цифрових технологій і моделювання засобів керування робочим процесом, регулюючі клапани, з точки зору технологій контролю, недостатньо висвітлені. По суті, ми маємо справу з частиною трубопроводу, що впливає на хід всього технологічного процесу. Перепад тиску в клапані є необхідною умовою здійснення його функції керування і виявляється як втрата енергії в енергетичному балансі виробничого процесу. На рис. 3.7 показано основні деталі сучасного регулюючого клапана. При розробці регулюючого клапана, незалежно від його призначення, необхідно взяти до уваги чотири аспекти:

- технічна відповідність регулюючого клапана робочим характеристикам і вимогами,
- відповідність вимогам безпеки під час нормальної роботи і в аварійних ситуаціях,
- концепція керування процесом, не суперечить принципам роботи приводу,

- концепція керування процесом, орієнтована на приведення в дію від сигналу зворотного зв'язку.

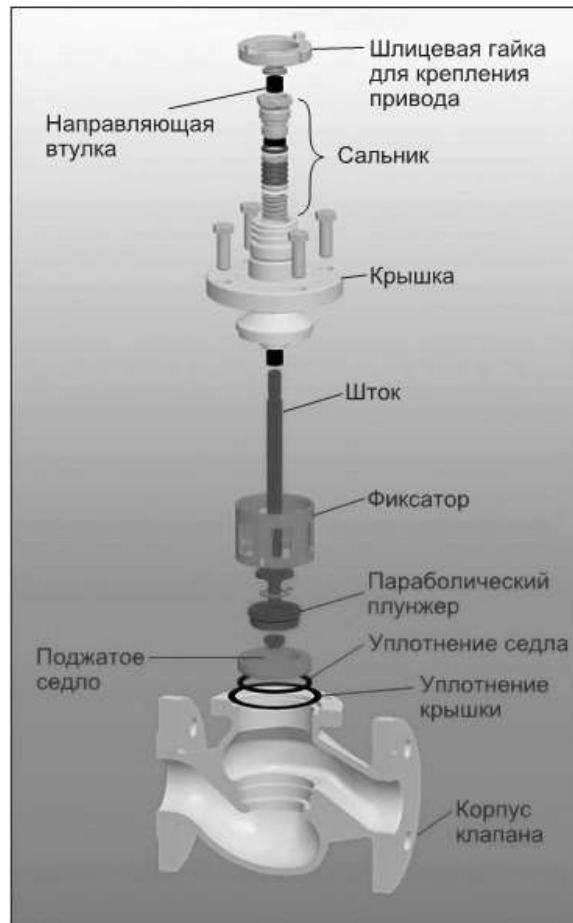


Рис. 3.7. Основні частини регулюючого клапана

Регулюючі клапани відіграють ключову роль по відношенню до обох критерій, оскільки вони мають вирішальний вплив на якість виробничого процесу і можливості установки. При оцінці тієї чи іншої моделі регулюючого клапана важливо враховувати вартість його життєвого циклу, вибухозахищеність всієї установки, безпеку людей і навколишнього середовища. Фактори, що впливають на економіку підприємства

У вартість життєвого циклу регулюючого клапана входить не тільки вартість вибору, розробки клапана та інвестицій в нього як таких, але і вартість монтажу і навчання персоналу. Під час експлуатації має додаватися вартість обслуговування, ремонту, запасних частин, можливої заміни клапана і енерговитрат, а так само вартість відшкодування ймовірного збитку

навоколишньому середовищу. Крім того, необхідно врахувати витрати на очищення та повторне використання. Індивідуальна розробка регулюючих клапанів і конфігурації їх рухомих частин істотно впливає на вартість життєвого циклу.

При цьому скорочуються витрати на експлуатацію та обслуговування. Тим самим, оптимізується економіка всього підприємства.

Регулюючі органи (РО) служать для керування підведенням (відводом) речовини або енергії в об'єкти регулювання з метою зміни регульованого параметра. По роду речовини, що протікає, або енергії РО ділять на пневматичні, гідравлічні й електричні.

При розрахунку регулюючого органу використовують схему яка подана на рис. 3.8.

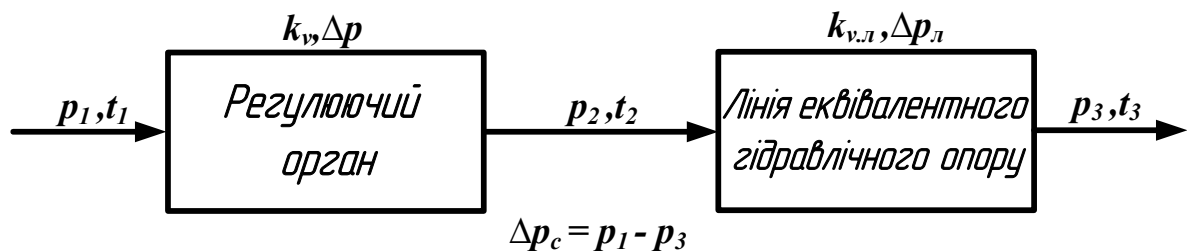


Рис. 3.8. Розрахункова схема при розрахунку регулюючого органу

При розрахунку регулюючого органу необхідно визначити:

- максимальну пропускну здатність K_{max} регулюючого органу і його умовний діаметр D_y ;
- робочу ділянку витратної характеристики (для клапанів);
- робочу ділянку кривої зміни перепаду тиску для рідини (для пари і газу знаходять тільки максимальний і мінімальний перепад тиску).

Для своєї курсової роботи в ролі регулюючого органу я обрав клапан.

Для визначання максимальної пропускну здатності РО використовуємо формулу

$$K_{V_{max}} = \frac{Q_{max}}{514} \cdot \sqrt{\frac{\gamma_H \cdot T_1}{\Delta P \cdot P_2}} \quad (3.9)$$

де γ – об'ємна маса газу;

$\Delta P = P_1 - P_2$ перепад тиску на РО;

P_2 – тиск після регулюючого органу;

Q_{max} – максимальна об'ємна витрата рідини;

T_1 – температура середовища перед регулюючим органом.

Слід відмітити, що якщо регулюють потоки в'язких рідин з індексом в'язкості $Z \leq 1000$, якщо $Z > 1000$ то поправку на густину не вводимо.

При цьому індекс в'язкості обраховуємо за виразом

$$Z = \frac{420 \cdot Q_{max}}{v \cdot \sqrt{K_{V_{max}}}} \quad (3.10)$$

де v – в'язкість природного газу.

При виборі регулюючого органу у вигляді клапана за наступними параметрами треба перевірити співвідношення

$$K_{V_{PO}} \geq 1.2 K_{V_{max}}$$

Знаходимо робочу ділянку витратної характеристики вибраного регулюючого органу, тобто хід плунжера. Для цього визначимо пропускну здатність лінії та відношення пропускну здатностей регулюючого органу і лінії:

$$K_{V_l} = \frac{Q_{max}}{514} \cdot \sqrt{\frac{\gamma_H \cdot T_2}{\Delta P_l \cdot P_3}} \quad (3.11)$$

$\Delta P_l = P_2 - P_3$ – перепади тиску на лінії;

P_3 – тиск після лінії;

T_2 – температура після РО.

$$n = \frac{K_{V_{PO}}}{K_{V_l}} \quad (3.12)$$

де $K_{V_{PO}}$ – пропускну спроможність клапана

Визначаємо перепад тиску на регулюючому органі формула

$$\Delta P_{po} = \frac{\Delta P_c}{1 + n^2} \quad (3.13)$$

$\Delta P_c = P_1 - P_3$ – перепад тисків у системі.

Витрати регулюючого середовища через РО можна обрахувати за виразом

$$Q_{po} = K_{V_{PO}} \cdot \sqrt{\frac{\gamma}{\Delta P_{po}}} \quad (3.14)$$

Залежність у робочих умовах відносної витрати μ середовища від ступеня відкриття регулювального органа:

$$\mu_{max} = \frac{Q_{max}}{Q_{po}} \quad (3.15)$$

$$\mu_{min} = \frac{Q_{min}}{Q_{po}} \quad (3.16)$$

При виборі регулювального органа в першу чергу необхідно оцінити його витратну характеристику, яка для більшості автоматичних систем повинна бути лінійною й однозначною рис. 3.9.

Ця вимога визначається тим, що тангенс кута нахилу дотичній до витратної характеристики дорівнює коефіцієнту передачі регулювального органа.

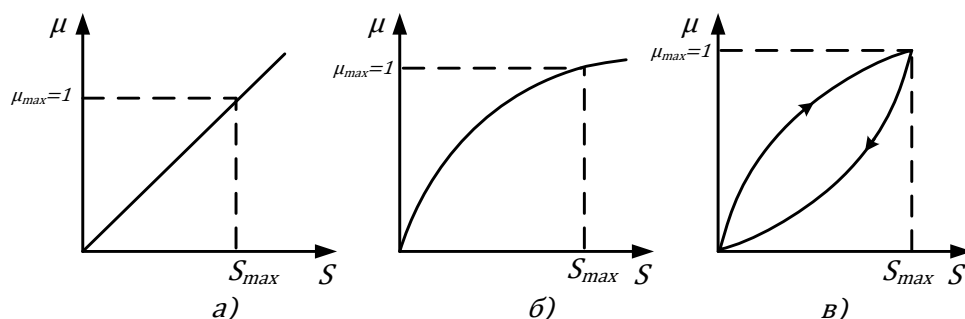


Рис. 3.9. Витратні характеристики регулюючого органу:

а – лінійна (бажана); б – нелінійна; в – нелінійна з гістерезисом

Дані для розрахунку клапана:

Для природного газу об'ємна маса (стандарт AGA8) $\gamma = 4 \text{ кг/см}^3$;

Тиск перед регулюючим органом $P_1 = 4 \text{ кг/см}^2$;

Тиск після регулюючого органу $P_2 = 3 \text{ кг/см}^2$;

Тиск після лінії $P_3 = 2,5 \text{ кг/см}^2$;

Температура перед і після регулюючого органу $t_1 = t_2 = 40^\circ\text{C}$;

Об'ємна витрата рідини $Q_{max} = 100 \text{ м}^3/\text{год}$;

Об'ємна витрата рідини $Q_{min} = 50 \text{ м}^3/\text{год}$;

В'язкість природного газу (стандарт AGA8) $\nu = 0,1472$

Розрахунок

1. Визначаємо максимальну пропускну здатність РО:

$$K_{V_{max}} = \frac{Q_{max}}{514} \cdot \sqrt{\frac{\gamma_H \cdot T_1}{\Delta P \cdot P_2}} = \frac{100}{514} \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot 253}{1 \cdot 3}} = 0,1945 \cdot 183,67 = 35,733 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$\Delta P = P_1 - P_2 = 4 - 3 = 1 \text{ кг/см}^2;$$

$$T_1 = T_2 = 273 - t_1 = 273 - 40 = 233 \text{ К};$$

2. Визначаємо індекс в'язкості :

$$Z = \frac{420 \cdot Q_{max}}{\nu \cdot \sqrt{K_{V_{max}}}} = \frac{420 \cdot 100}{0,1472 \cdot \sqrt{35,733}} = 50186,82 > 1000$$

3. Обираємо регулюючий орган у вигляді клапана за наступними параметрами :

$$K_{V_{PO}} = 60 \text{ м}^3/\text{год} \text{ і } D_Y = 50 \text{ мм.}$$

Перевіряємо виконання умови :

$$K_{V_{PO}} \geq 1,2 K_{V_{max}}$$

$$60 \text{ м}^3/\text{год} > 35,733 \cdot 1,2 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$60 \text{ м}^3/\text{год} > 42,723 \text{ м}^3/\text{год}$$

4. Знаходимо пропускну здатність лінії:

$$K_{V_L} = \frac{Q_{max}}{51,4} \cdot \sqrt{\frac{\gamma_H \cdot T_2}{\Delta P_L \cdot P_3}} = \frac{100}{51,4} \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot 253}{0,5 \cdot 2,5}} = 1,945 \cdot 28,453 = 55,34 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$\Delta P_{\text{л}} = P_2 - P_3 = 3 - 2,5 = 0,5 \text{ кг/см}^2;$$

5. Визначаємо відношення пропускних здатностей РО на лінії:

$$n = \frac{K_{V_{PO}}}{K_{V_{\text{л}}}} \frac{60}{55,34} = 1,084$$

6. Визначаємо перепад тиску на регулюючому органі

$$\Delta P_{\text{po}} = \frac{\Delta P_c}{1 + n^2} = \frac{1,5}{1 + 1,084^2} = 0,689 \text{ кг / см}^2$$

$$\Delta P_c = P_1 - P_3 = 4 - 2,5 = 1,5 \text{ кг/см}^2;$$

7. Витрати регулюючого середовища через РО:

$$Q_{\text{po}} = K_{V_{PO}} \cdot \sqrt{\frac{\gamma}{\Delta P_{\text{po}}}} = 60 \cdot \sqrt{\frac{4}{0,689}} = 144,56 \text{ м}^3/\text{год}$$

8. Відносні витрати регулюючого середовища через РО:

$$\mu_{\text{max}} = \frac{Q_{\text{max}}}{Q_{\text{po}}} = \frac{100}{144,56} = 0.691$$

$$\mu_{\text{min}} = \frac{Q_{\text{min}}}{Q_{\text{po}}} = \frac{50}{144,56} = 0.345$$

Для даного проекту і розрахунків я обрав клапан фірми «АрмаВент» модель «25ч940иж».

Клапан 25ч940нж рис. 2.10 регулюючий двосідловий фланцевий з двигуном, призначений для використання на центральних і індивідуальних пунктах, котельних системах тепличних хазяйствах і в інших областях народного господарства для автоматичного регулювання технологічних процесів. Удосконалення плунжера в клапані 25ч940нж при наявності двох сідел забезпечує стабільну і надійну роботу при регулюванні потоку середовища. Клапан 25ч940нж має рівнопроцентну характеристику.

Матеріали основних деталей

Назва деталі	Марка деталі
Корпус, кришка	СЧ20 ДСТУ - 1412
Плунжер, сідло	Сталь 20Х13 ДСТУ - 5632
Ущільнення в затворі	Метал по металу
Ущільнення сальників	Графлекс

Технічні характеристики даного клапана наведені у таблиці 3.3.

Технічні характеристики

Номінальний діаметр, мм	50
Номінальний тиск, МПа	5
Пропускна характеристика	рівнопроцентна
Робочий хід плунжера, мм	28
Умовна пропускна здатність $K_{V_{max}}$, м ³ /год	60
Допустимий перепад тиску, МПа	2,0 0,1
Відносне протікання в затворі, % від	0,01 при макс. тиску
Робоче середовище	вода, пара, природний газ та інші середовища які нейтральні до деталей
Температура робочого середовища Т,	від -15 до +300
Гарантійний термін, років	2 з моменту введення в експлуатацію
Тип двигуна	380 В, 50 Гц
Термін служби, років	10
Напрацювання на відмову, годин	9000
Точність клапана	А
Приєднуючі розміри і розміри герметизуючи поверхонь	виконані 1 ряд 2 ДСТУ – 12815
Термін консервації, років	3
Маса клапана, кг	30
Привод	ST 0.1

На рис. 3.10 показана витратна характеристика РО відносно ходу плунжера.

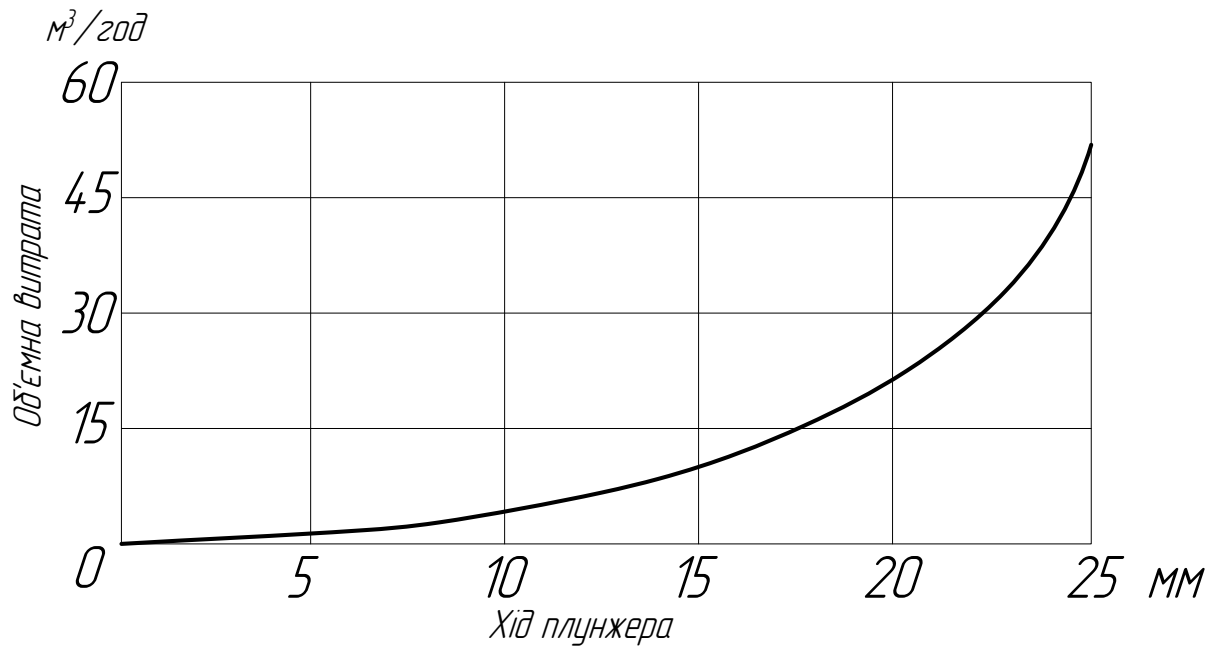


Рисунок 3.10. Рівнопроцентна характеристика клапана

3.4. Вибір виконавчого механізму для регулюючого органу

Для вибору виконавчого механізму нам необхідно обрахувати залежність величини обертального моменту ВМ для переміщення плунжера РО, для цього можна скористатися формулою:

$$M_{BM} = 2 \cdot (M_p + M_M) \quad (3.17)$$

де M_p – реактивний момент, обумовлений намаганням потоку речовини закрити заслінку;

M_M – момент опору в опорах.

Для визначення обертального моменту ВМ нам необхідно визначити реактивний момент M_p і момент опору в опорах M_M для цього скористаємося формулами

$$M_p = 0.07 \cdot \Delta P_{p_{max}} \cdot D_y^3 \quad (3.18)$$

$$M_M = 0.75 \cdot \Delta P_{p_{o_{min}}} \cdot D_y^2 \cdot \lambda \quad (3.19)$$

де $\Delta P_{p_{o_{max}}}$ – максимальний перепад тиску на РО;

$\Delta P_{p_{o_{min}}}$ – мінімальний перепад тиску на РО;

λ – коефіцієнт тертя в опорах РО;

D_y - діаметр РО.

Момент обертання валу виконуючого механізму повинен бути не менший за момент, необхідний для відкриття заслінки. Скористаємося умовою (3.20)

$$M_H \geq M_{BM} \quad (3.20)$$

Розрахунок. Визначаємо реактивний момент M_p і момент опору в опорах M_M

$$M_p = 0.07 \cdot \Delta P_{p_{o_{max}}} \cdot D_y^3 = 0.07 \cdot (1.365 \cdot 10^4) \cdot (10^{-3} \cdot 50)^3 = 0,119 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_M = 0.75 \cdot \Delta P_{p_{o_{min}}} \cdot D_y^2 \cdot \lambda = 0.75 \cdot (1,23 \cdot 10^4) \cdot (10^{-3} \cdot 50)^2 \cdot 0.15 = 3,35 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Тоді момент виконавчого механізму буде дорівнювати:

$$M_{BM} = 2(0,119 + 3,35) = 6,97 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Перевіряємо задоволеність електроприводу

$$M_H \geq M_{BM}$$

$$7,2 \geq 6,97 \text{ – задовольняє вибраному}$$

Обираємо електричний виконавчий механізм «Regada ST 0.1» рис. 3.11, в якому : $T_{em} = 10 \text{ с}$

Отже передатна функція виконавчого механізму має вигляд:

$$W_{BM} = \frac{K_{BM}}{10s} = \frac{1}{10s} \quad (3.21)$$



Рис. 3.11. Виконавчий механізм прямохідний Regada ST 0.1

Технічні характеристики регулювального клапану Regada ST 0.1

Робочий хід, мм	30
Час повного закриття/відкриття, с	10
Зусилля на штокові, Н м	7.2
Режим роботи	повторно-короткочасний
Напруга живлення	380 В, 50 Гц
Споживана потужність, Вт	15
Вага, кг	7,8
Умови експлуатації	
Навколишня температура,	-30..+60
Відносна волога, %	5..100
Ступінь захисту	IP65

За допомогою передавальної функції будемо динамічну характеристику рис. 3.12.

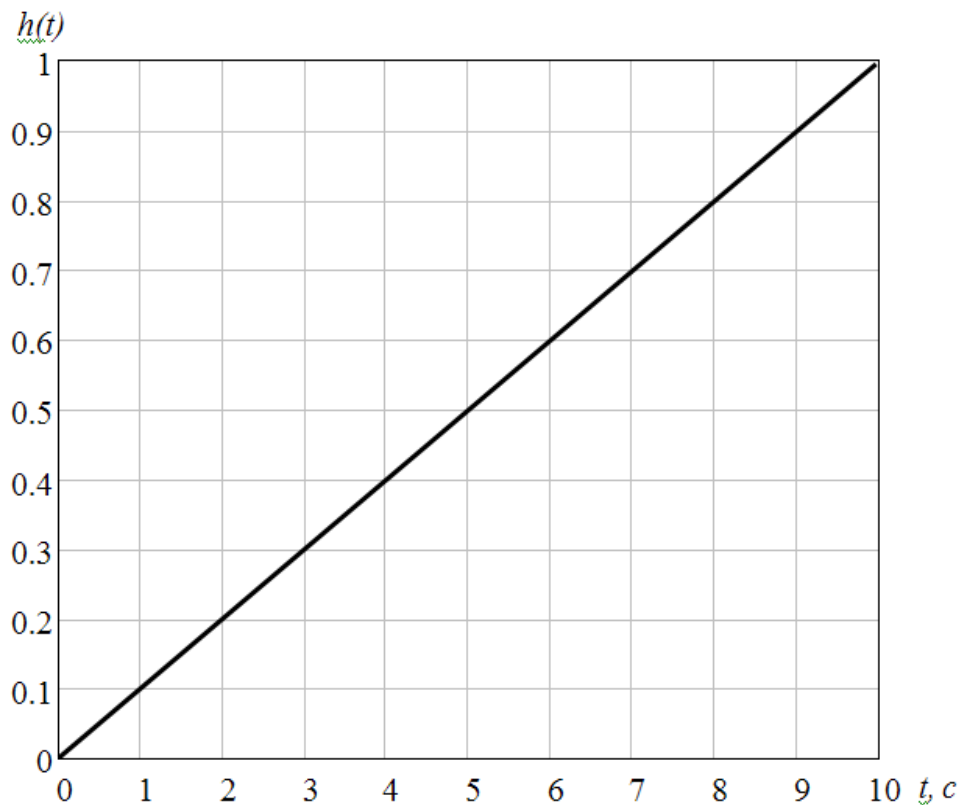


Рис. 3.12. Динамічна характеристика ВМ

На рис. 3.13 показана статична характеристика виконавчого механізму.



Рис. 3.13. Статична характеристика ВМ

3.5. Обґрунтування вибору алгоритму керування та програмованого логічного контролера для його реалізації

Використовуючи дані про об'єкт автоматизації – статичні і динамічні характеристики, відомості про збурення, технологічні вимоги до якості регулювання, – можна у кожному конкретному випадку на основі вироблених практикою критеріїв визначити алгоритм керування і вибрати тип регулятора. Вибір цей є попереднім, а кінцевий висновок про стійкість системи об'єкт – регулятор і точність регулювання роблять на основі подальших розрахунків.

При виборі типу регулятора рекомендується [8] орієнтуватися на величину відношення запізнення до постійної часу об'єкта $\frac{\tau_{ov}}{T_{ov}}$.

- Якщо $\frac{\tau_{oy}}{T_{oy}} < 0,2$, перевагу віддають позиційному (релейному)

алгоритму керування, але можливе використання і неперервного алгоритму. Рішення приймається в залежності від технологічних вимог до процесу управління.

- Якщо $0,2 < \frac{\tau_{oy}}{T_{oy}} < 1,0$, перевагу віддають неперервному або

цифровому алгоритму керування (П-, ПІ- або ПІД-закон керування)

- Якщо $\frac{\tau_{oy}}{T_{oy}} > 1,0$, вибирають спеціальний цифровий регулятор з

екстраполятором, який компенсує запізнювання в контурі керування.

Отже, $(\tau_{oy} / T_{oy}) = 20/320 = 0,0625$.

Відомо, що перехідний процес в САК за вказаними умовами рекомендованим є позиційний алгоритм керування, але за технологічними вимогами виробництва біогазу необхідно використати неперервний алгоритм керування.

САК характеризується часом регулювання t_p , перерегулюванням σ , максимальним динамічним відхиленням y_1 та статичною похибкою. При використанні різноманітних законів регулювання для одного і того ж об'єкту не вдається добитися одночасної мінімізації відомих показників.

В цьому випадку САК прийнято настроювати одним із трьох типових перехідних процесів.

Методика вибору найкращого закону регулювання для певного об'єкта полягає у визначенні динамічного коефіцієнта регулювання.

Для статичних об'єктів:

$$R_d = \frac{y_1}{k_{об} \cdot y_3}, \quad (3.22)$$

де $k_{об}$ – коефіцієнт передачі об'єкту керування;

y_3 – максимально допустиме збурення по навантаженню, в % ходу РО;

y_1 – максимальне динамічне відхилення.

Підставивши відповідні значення, отримали:

$$R_d = 2 / (0,2 \cdot 40) = 0,25.$$

За графічними залежностями [8], визначаємо закон керування – це ПІ-закон керування з типовим перехідним процесом з 20%-ним перерегулюванням.

Для технічної реалізації системи автоматичного керування температурним режимом у багатомодульній біогазовій установці вибираємо програмований логічний контролер **ОВЕН ПЛК160** (рис. 3.14).



Рис. 3.14. Програмований логічний контролер ОВЕН ПЛК160

ОВЕН ПЛК160 – лінійка програмованих лінійних моноблокових контролерів із дискретними та аналоговими входами/виходами на борту для автоматизації систем середнього рівня та розподілених систем керування.

Рекомендується для використання у системах керування кліматичним обладнанням, у системах HVAC, у сфері ЖКГ (ІТП, ЦТП), в АСК водоканалів (водопідготовка, насосні станції), для керування харчопереробними та пакувальними апаратами, а також у сфері виробництва будівельних матеріалів.

Відмінними особливостями лінійки контролерів ОВЕН ПЛК160 є:

- потужні обчислювальні ресурси та великий об'єм пам'яті;
- наявність дискретних та аналогових входів/виходів на борту контролера;

- наявність послідовних портів (RS-232, RS 485) на борту контролера;
- наявність порту Ethernet для увімкнення у локальні або глобальні мережі верхнього рівня;
- підтримання протоколів обміну Modbus (RTU, ASCII), OVEN, DCON;
- можливість роботи безпосередньо з портами контролера, що дозволяє підмикати зовнішні пристрої з нестандартними протоколами.

Крім того, контролер має вбудований годинник, що дозволяє створювати системи керування з урахуванням реального часу, а також вбудований акумулятор, який дозволяє організувати низку додаткових сервісних функцій (можливість короткочасного переключення зникнення живлення, переведення вихідних елементів у безпечний стан).

Технічні характеристики програмно-логічного контролера OVEN ПЛК160 наведені в додатках Г, Д.

Схема електрична принципова САК температурним режимом в метантенках біогазової установки наведений в додатку В.

3.6. Розробка програми реалізації алгоритму керування температурним режимом у багатомодульній біогазовій установці

Програмна реалізація виконується за допомогою програмного середовища CoDeSys v.2.3, яке розроблене для програмування лінійки контролерів OVEN.

Першим кроком при створенні програми необхідно обрати технічні засоби в блоці Hardware Config (рис. 3.15).

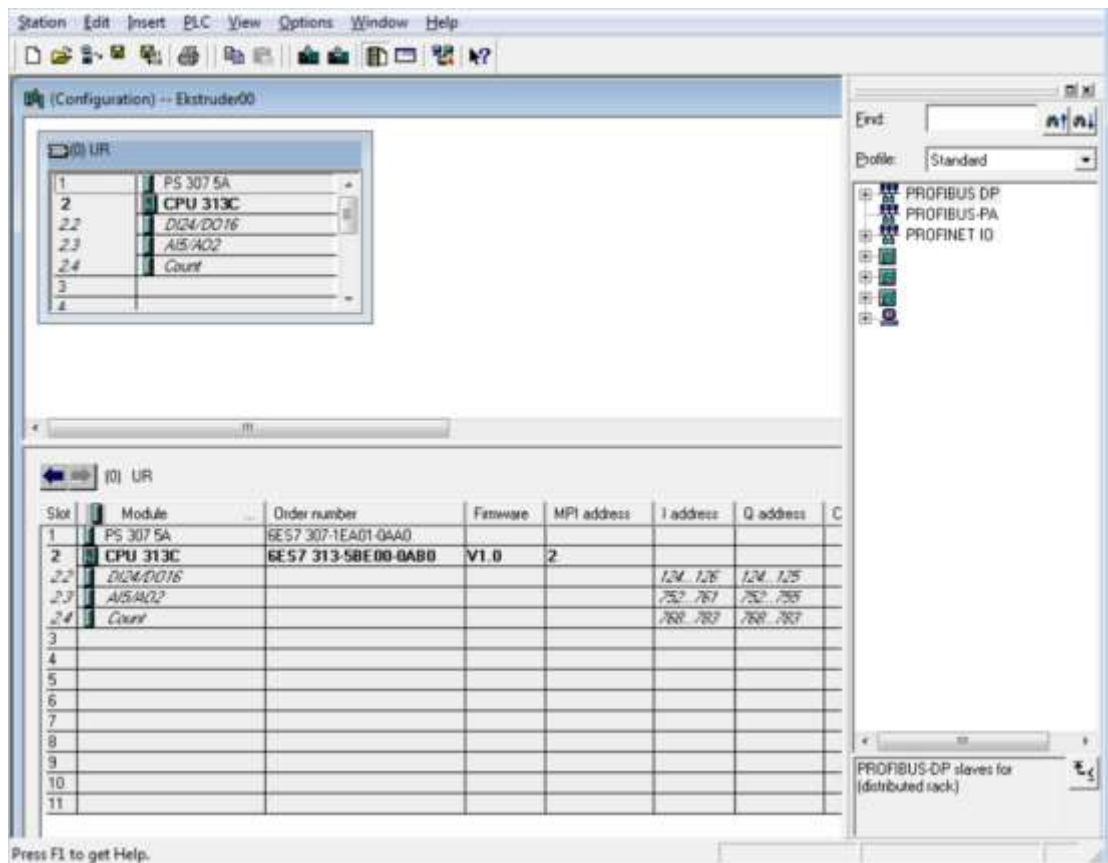


Рис. 3.15. Загальний вигляд вікна CoDeSys v.2.3 Hardware Config

Наступним кроком визначаються змінні та їх адреси, які будуть використовуватись при розробці програми (рис. 3.16).

Основний текст програми написано на мові LAD (рис. 3.17, 3.18).

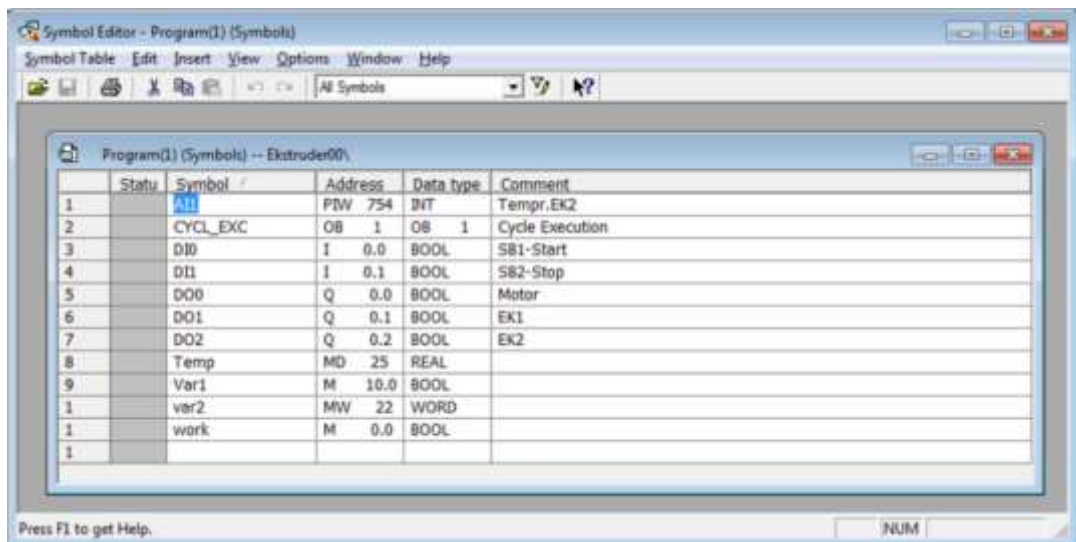


Рис. 3.16. Загальний вид вікна CoDeSys v.2.3 Symbol Editor

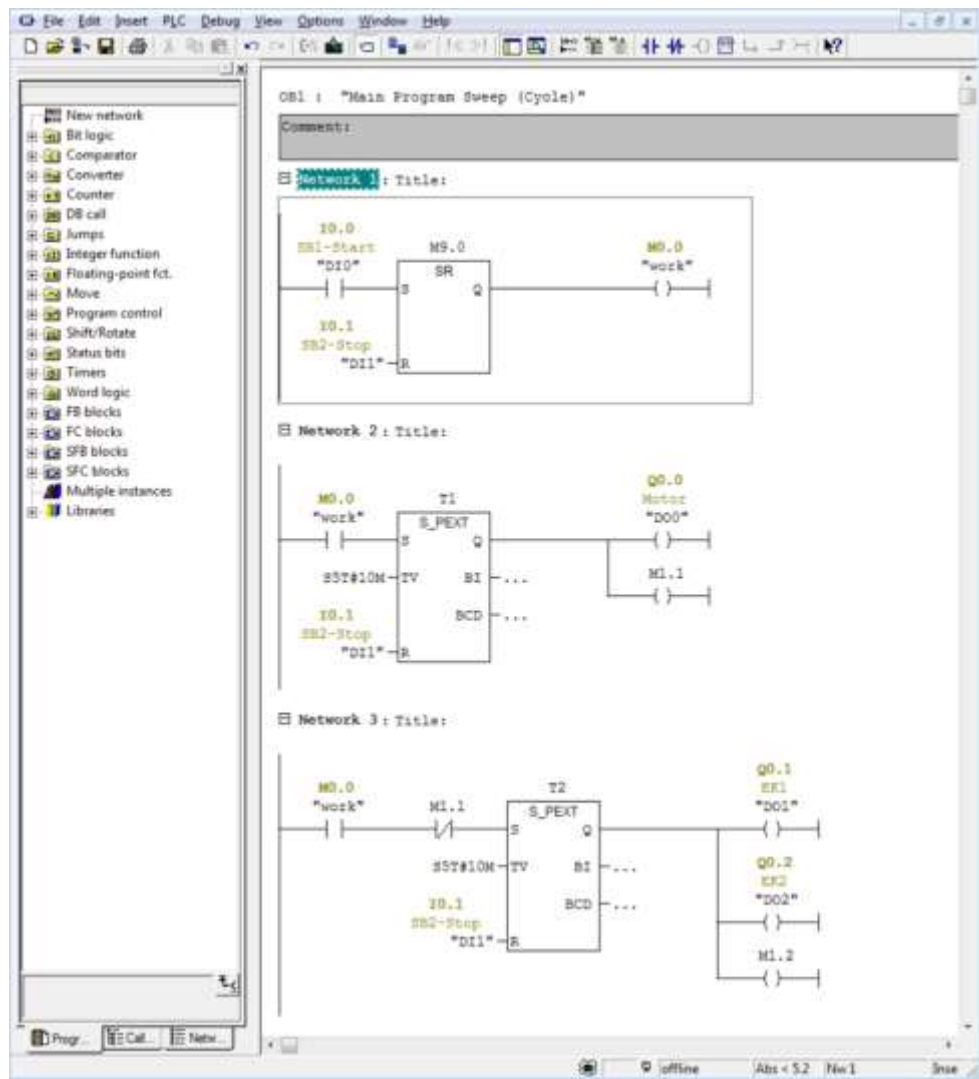


Рис. 3.17. Програма керування температурою в біогазовій установці у середовищі CoDeSys v.2.3 (початок)

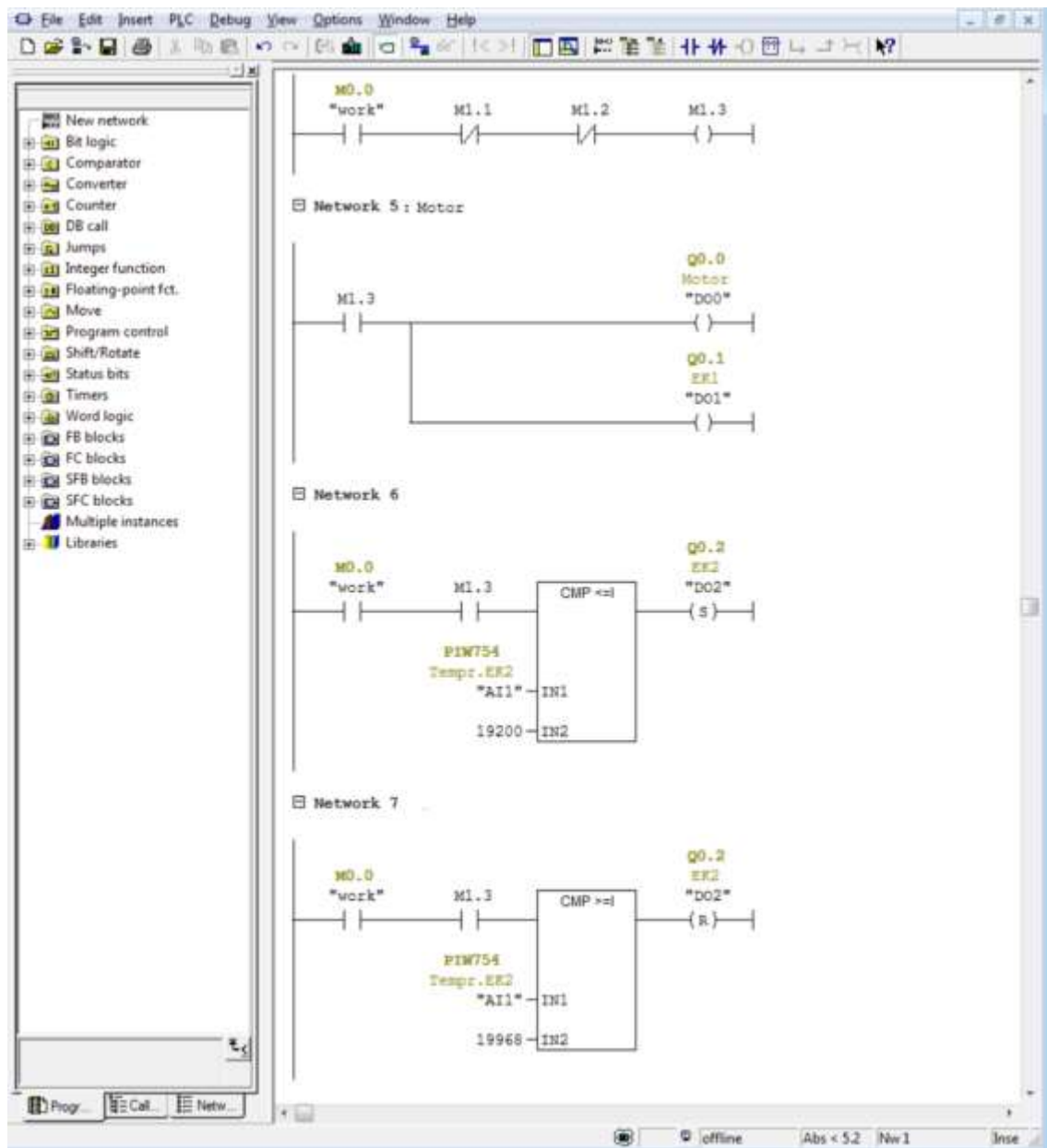


Рис. 3.18. Програма керування температурою в біогазовій установці у середовищі CoDeSys v.2.3 (закінчення)

Для перевірки працездатності системи регулювання використовувалась симуляція логічного контролера ОВЕН ПЛК160 із завантаженою програмою (рис. 3.19).

Симуляція виконання розробленої програми керування температурним режимом у багатомодульній біогазовій установці підтвердила свою працездатність та може бути використана при програмуванні на виробництві.

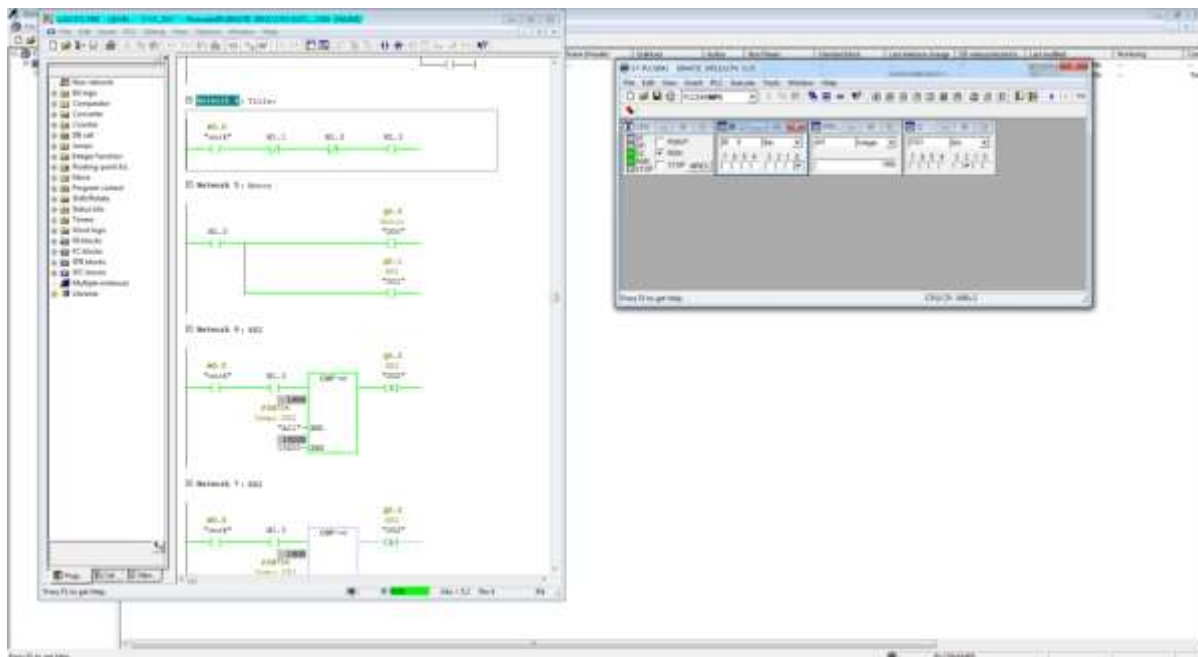


Рис. 3.19. Вікно CoDeSys v.2.3: симуляція логічного контролера ОВЕН ПЛК160 із завантаженою програмою

3.7. Побудова перехідного процесу замкненої системи та визначення показників якості регулювання

Перехідний процес САК – це зміна за часом вихідної величини системи, коли на вхід подано сигнал у вигляді одиничної сходинок

$$1(t) = \begin{cases} 1 & \text{при } t \geq 0 \\ 0 & \text{при } t < 0 \end{cases}$$

При цьому в початковий момент $t=0$ система мала нульові початкові умови.

Скориставшись математичним пакетом програм Matlab, побудуємо нормований перехідний процес САК рис. 3.20.

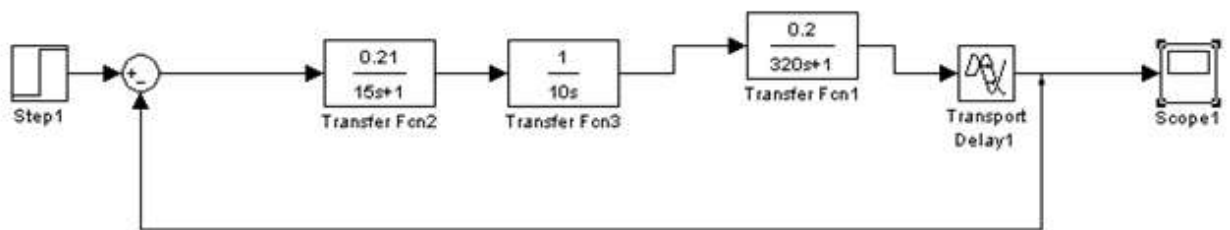


Рис. 3.20. Структурна алгоритмічна схема САК температурним режимом виробництва біогазу

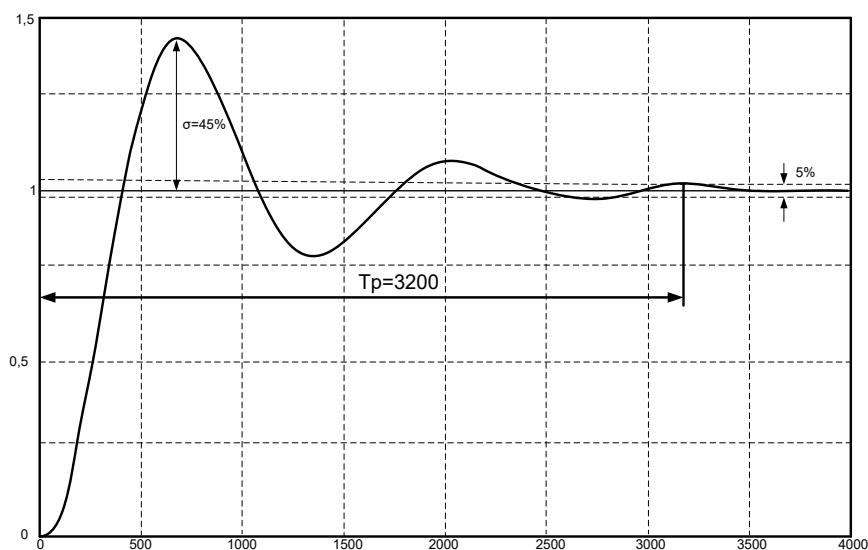


Рисунок 3.21. Перехідний процес замкненої САК (без регулятора)

Проаналізувавши криву перехідного процесу без регулятора, можна оцінити показники якості, до яких належать:

- точність САР в усталеному стані, тобто статична похибка: $\delta = 0\%$.
- час регулювання t_p – час на протязі якого змінюється регулююча величина. Він складає для нашого об'єкту $t_p = 3500$ с.

- перерегулювання σ – максимальне відхилення регулюючої величини від усталеного значення визначаємо за формулою:

1. Статична похибка $\delta = (1 - X_{уст}) \cdot 100\% = (1 - 1) \cdot 100\% = 0$

2. Перерегулювання $\sigma = \left(\frac{X_{\max} - X_{уст}}{X_{уст}} \right) \cdot 100\% = \left(\frac{1.45 - 1}{1} \right) \cdot 100\% = 45\%$

3. Кількість коливань $n=3$

4. Час регулювання $t_{рег} \approx 3200$ с

Як видно з приведених розрахунків, всі параметри перехідного процесу не задовольняють технологічним вимогам.

РОЗДІЛ 4

ВДОСКОНАЛЕННЯ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ ТЕМПЕРАТУРНИМ РЕЖИМОМ В БІОРЕАКТОРІ БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ

4.1. Інтегрована нейро-нечітка модель ANFIS

Систему нечіткого логічного висновку можна представити у вигляді *нейро-нечіткої мережі* – нейронної мережі прямого поширення сигналу особливого типу. Архітектура нейро-нечіткої мережі ізоморфна нечіткій базі знань. В інтегрованій моделі для визначення параметрів системи нечіткого висновку використовуються методи навчання нейронних мереж. Інтегровані нейро-нечіткі системи розподіляють структури даних і подання знань.

Найбільш загальний спосіб застосування методу навчання до нечіткої системи полягає в тому, щоб подати її у вигляді архітектури, подібної нейронній мережі. Однак звичайні (градієнтні) методи навчання нейронних мереж не можуть безпосередньо застосовуватися до такої системи, оскільки функції, використовувані в процесі виведення звичайно є недиференційовані. Ця проблема може бути вирішена шляхом використання диференційованих функцій у системі виведення або не використання стандартних методів навчання нейромереж. У нейро-нечітких мережах використовуються реалізації трикутних норм (множення і імовірнісне АБО), що диференціюються, а також гладкі функції приналежності. Це дозволяє застосовувати для налаштування нейро-нечітких мереж швидкі алгоритми навчання нейронних мереж, засновані на методі зворотного поширення помилки.

Інтегрована нейро-нечітка модель є інтерпретованою і здатна до контрольованого навчання. У ANFIS процес навчання сконцентрований тільки на настроюванні значень параметрів у межах установлених структур. Для

багатомірних задач буде складним визначити оптимальні структури «передумова-наслідок», кількість правил і т. д. Користувач повинний визначити деталі архітектури: тип і кількість функцій приналежності для вхідної і вихідної змінних, тип нечітких операторів і т. д.

Серед інтегрованих нейро-нечітких моделей ANFIS має найбільшу точність. Це пояснюється тим, що в ANFIS реалізовані правила Такагі-Сугено. Системи виведення типу Такагі-Сугено є більш точними, але вимагають більше обчислювальних витрат.

Правило Такагі-Сугено є іншим типом нечітких правил та мають такий вигляд: Якщо $x_1 \in A_1$ та $x_2 \in A_2 \dots$ та $x_n \in A_n$. То $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$. В правилах такої форми $\{x_i\}$ – це вхідні змінні; y – вихідна змінна; $\{A_i\}$ – нечіткі терми, визначені на $\{x_i\}$, $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ – лінійна функція, що залежить від вхідних змінних.

Антецедентом правила називають множину нечітких термів, визначених для входів, що є умовою спрацьовування правила.

Консеквентом правила називають множину нечітких термів, визначених для виходів, які будуть присвоєні вихідним змінним при спрацьовуванні правила.

Імплікація – це модифікація нечітких множин виходів за допомогою ступеню виконання правила.

ANFIS реалізує систему нечіткого виведення Сугено у вигляді п'ятишарової нейронної мережі прямого поширення сигналу. Призначення шарів наступне:

- *перший шар* – терми вхідних змінних;
- *другий шар* – антецеденти (посилки) нечітких правил;
- *третій шар* – нормалізація мір виконання правил;
- *четвертий шар* – висновки правил;
- *п'ятий шар* – агрегація результату, отриманого за різними правилами.

Входи мережі в окремий шар не виділяються.

На рис. 4.1 представлена ANFIS-мережа з двома вхідними змінними (x_1 і x_2) і чотирма нечіткими правилами. Для лінгвістичної оцінки вхідної змінної x_1 використовується три терми, для змінної x_2 – два терми.

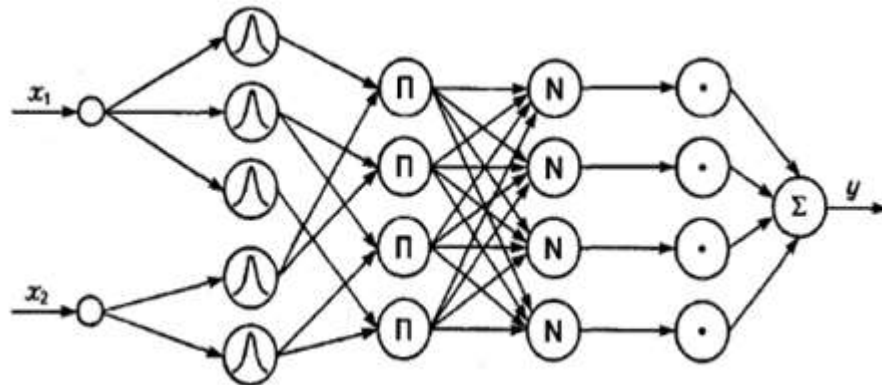


Рис. 4.1. Приклад нейрон-нечіткої мережі

Введемо наступні позначення:

- x_1, x_2 – входи мережі;
- y – вихід мережі.
- R_r : Якщо $x_1=a_{1,r}$ ТА...ТА $x_n=a_{n,r}$, то $y=b_{0,r}+b_{0,r}x_1+ \dots + b_{n,r}x_n$ – нечітке правило з порядковим номером r ;
- m – кількість правил, ;
- $a_{i,r}$ – нечіткий терм з функцією приналежності $m_r(x_i)$, що застосовується для лінгвістичної оцінки змінної x_i в r -му правилі (,);
- $b_{q,r}$ – коефіцієнти в висновку r -го правила (,).

ANFIS-мережа функціонує таким чином.

Шар 1. Кожен вузол першого шару представляє один терм з кололоподібною функцією приналежності. Входи мережі x_1, x_2, \dots, x_n сполучені лише зі своїми термами. Кількість вузлів першого шару дорівнює сумі потужностей терм-множин вхідних змінних.

На вихід вузла подається міра приналежності значення вхідної змінної відповідному нечіткому терму:

$$\mu_r(x_1) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x_1 - c}{a} \right|^{2b}}; \quad (4.1)$$

де: a , b і c – параметри функції приналежності, що настроюються.

Шар 2. Кількість вузлів другого шару дорівнює m . Кожен вузол цього шару відповідає одному нечіткому правилу. Вузол другого шару сполучений з тими вузлами першого шару, які формують антецеденти відповідного правила. Отже, кожен вузол другого шару може приймати від 1 до n сигналів. Виходом вузла є міра виконання правила, яка розраховується як добуток вхідних сигналів. Позначимо виходи вузлів цього шару через τ_r ,

Шар 3. Кількість вузлів третього шару також дорівнює m . Кожен вузол цього шару розраховує відносну міру виконання нечіткого правила по формулі:

$$\tau_r = \frac{\tau_r}{\sum_{j=1,m} \tau_r}; \quad (4.2)$$

Шар 4. Кількість вузлів четвертого шару також дорівнює m . Кожен вузол сполучений з одним вузлом третього шару, а також зі всіма входами мережі. Вузол четвертого шару розраховує вклад одного нечіткого правила у вихід мережі по такій формулі:

$$y_{r=\tau_r} (b_{0,r} + b_{1,r}x_1 + \dots + b_{n,r}x_n); \quad (4.3)$$

Шар 5. Єдиний вузол цього шару підсумовує вклади всіх правил:

$$y = y_1 + \dots + y_r \dots + y_m; \quad (4.4)$$

Типові процедури навчання нейронних мереж можуть бути застосовані для налаштування ANFIS-мережі, оскільки в ній використовуються функції, що диференціюються. Зазвичай застосовується комбінація градієнтного спуску у вигляді алгоритму зворотного поширення помилки і методу найменших квадратів. Алгоритм зворотного поширення помилки настроює параметри антецедентів правил, тобто функцій приналежності. Методом найменших квадратів оцінюються коефіцієнти висновків правил, оскільки

вони лінійно пов'язані з виходом мережі. Кожна ітерація процедури настройки виконується в два етапи. На першому етапі на входи подається навчальна вибірка і по нев'язці між бажаною і дійсною поведінкою мережі методом найменших квадратів знаходяться оптимальні параметри вузлів четвертого шару. На другому етапі залишкова нев'язка передається з виходу мережі на входи і методом зворотного поширення помилки модифікуються параметри вузлів першого шару. При цьому знайдені на попередньому етапі коефіцієнти висновків правил не змінюються. Ітераційна процедура налаштування продовжується, поки нев'язка перевищує заздалегідь встановлене значення. Для настройки функцій приналежності, окрім методу зворотного поширення помилки, можуть використовуватися і інші алгоритми оптимізації, наприклад, метод Льовенберга-Марквардта.

4.2. Синтез системи автоматичного керування за допомогою нейромережевих технологій

Використання системи автоматичного керування із застосуванням нейро-мережевого аналізу зумовлене, насамперед, тим, що в системі присутня постійна нелінійна зміна вхідних параметрів. Причому розкид значень цих параметрів від медіани може бути досить і досить суттєвим.

Звичайно, можна було б побудувати просто САК зі зворотнім зв'язком за якимось конкретним параметром, проте це не забезпечило б енергоефективності такої системи – присутня занадто велика інерційність у регулюванні.

Тому, виходячи із критерію «енергоощадність» була створена ANFIS-модель залежності якості дезінфекції від уже зазначених вхідних параметрів (рН розчину, провідність, концентрація завислих частинок (мутність)) та ANFIS-модель енергозатрат. Розробка моделей була реалізована за допомогою

графічного інтерфейсу гібридних нейронних мереж у пакеті прикладних програм ANFIS Editor (Fuzzy Logic Toolbox) системи MatLAB.

Для ефективного моделювання було взято три вибірки по 20 наборів експериментальних даних: навчальні (Training data), контрольні (Testing data), перевіряльні (Checking data). Наявність трьох вибірок не є обов'язковою умовою, інколи вистачає лише навчальної і контрольної. Перевірочна вибірка покращує якість подальшої роботи САК, оскільки дає можливість пересвідчитись у тому, що не відбулося так званого «перенавчання» нейронної мережі. У таблиці Б1 (Додаток Б) наведені експериментальні дані, за якими проводилось моделювання.

Створимо ANFIS-модель залежності кута повороту заслінки від температури навколишнього середовища і температури субстрату в біореакторі.

При навчанні системи із навчальної вибірки (Training data) були вибрані настройки за умовчанням, встановлено 60 циклів (Epochs) само налаштування. Отримали прийнятну середньоквадратичну похибку, що становила 0,63304 NTU (рис. 4.2).

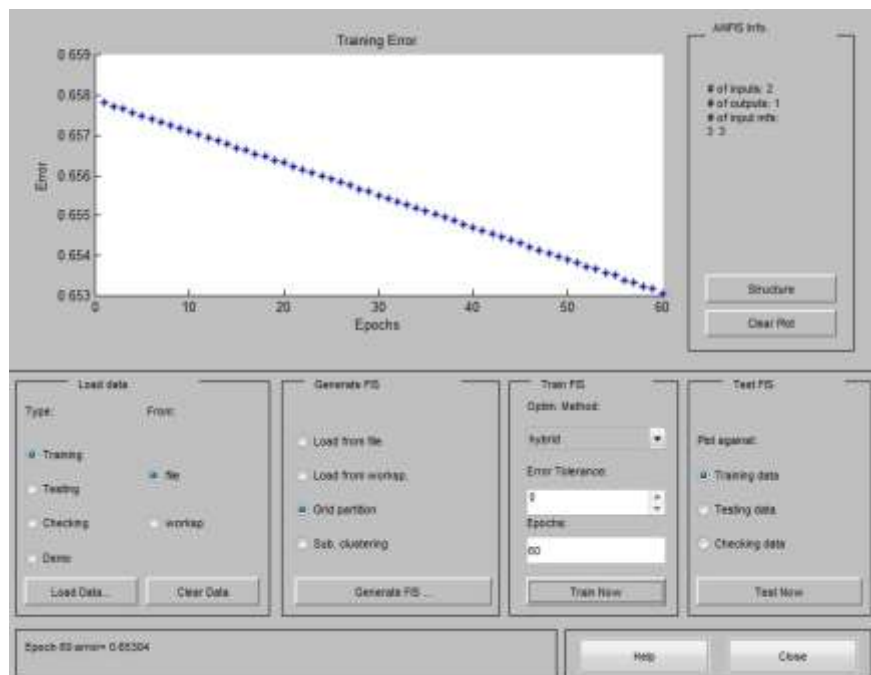


Рис. 4.2. Самоналаштування ANFIS на навчальну вибірку експериментальними даними

Далі ввели значення контрольної вибірки (Testing data). Результати, отримані при настройках за умовчанням, виявились задовільними – середньоквадратична похибка дорівнювала 0,65853 NTU (рис. 4.3).

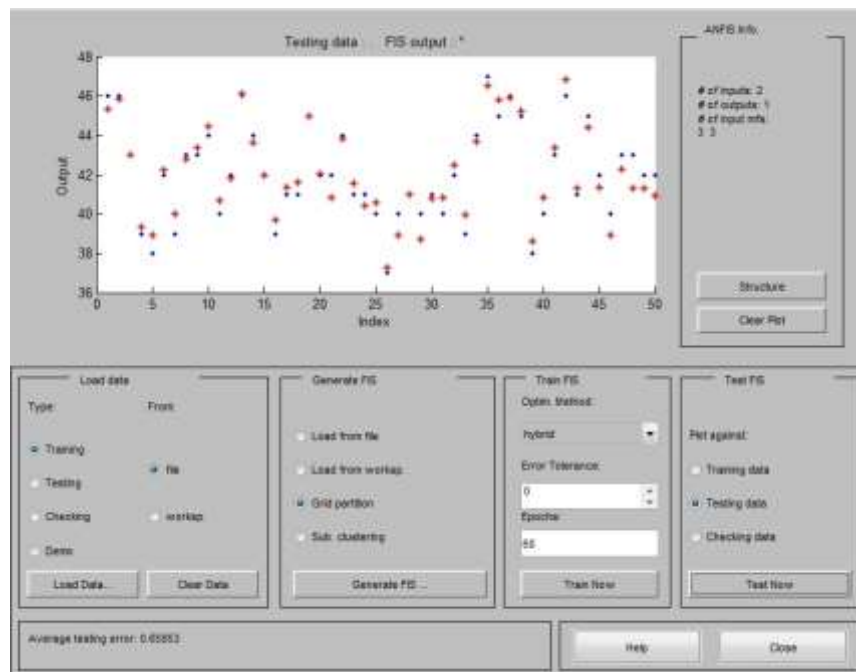


Рис. 4.3. Самоналаштування ANFIS на контрольну вибірку експериментальних даних при настройках параметрів системи за умовчанням

У процесі навчання біло побудовано структуру нечіткої нейронної мережі кількість нейронів у кожному із шарів варіювалися функції належності (рис. 4.4).

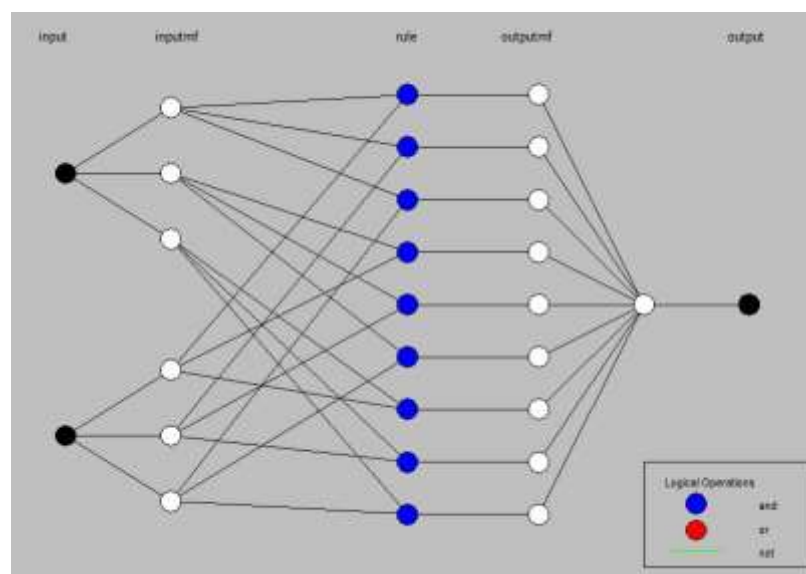


Рис. 4.4. Структура навченої нечіткої нейронної мережі

Якість роботи гібридної нейронної мережі оцінили, подавши на вхід перевіряльні дані (Checking data). Середньоквадратична похибка становила 0,72822 NTU (рис. 4.5). Отже, ANFIS – “навчена”.

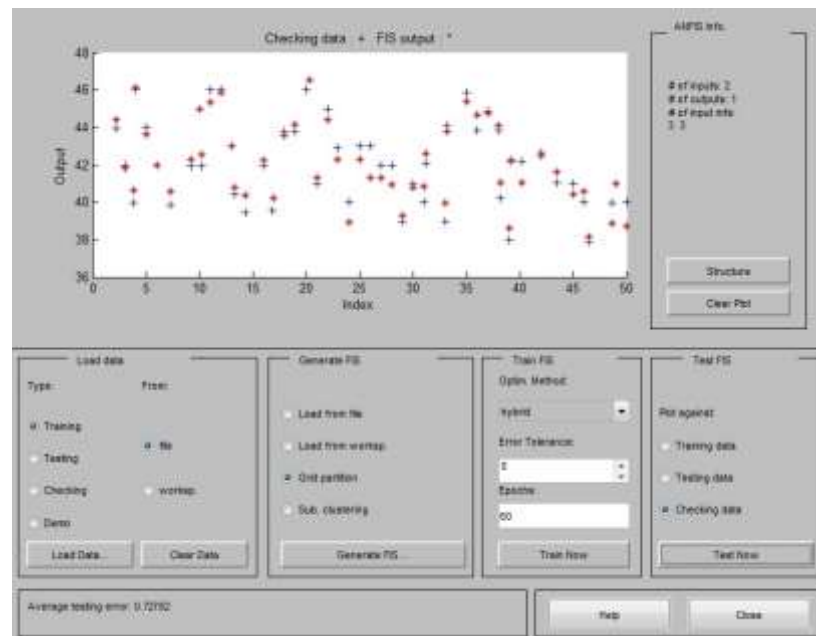
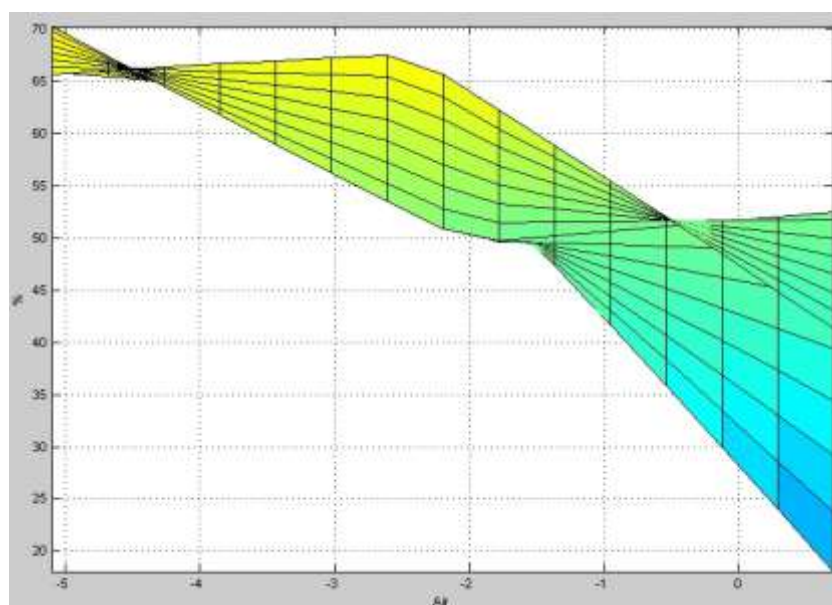
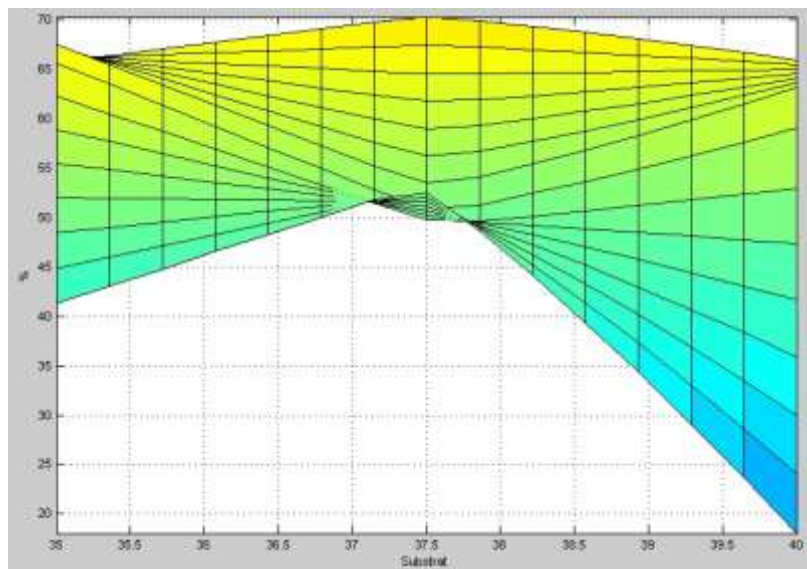


Рис. 4.5. Результати самоналаштування “навченої” ANFIS на перевіряльний блок даних

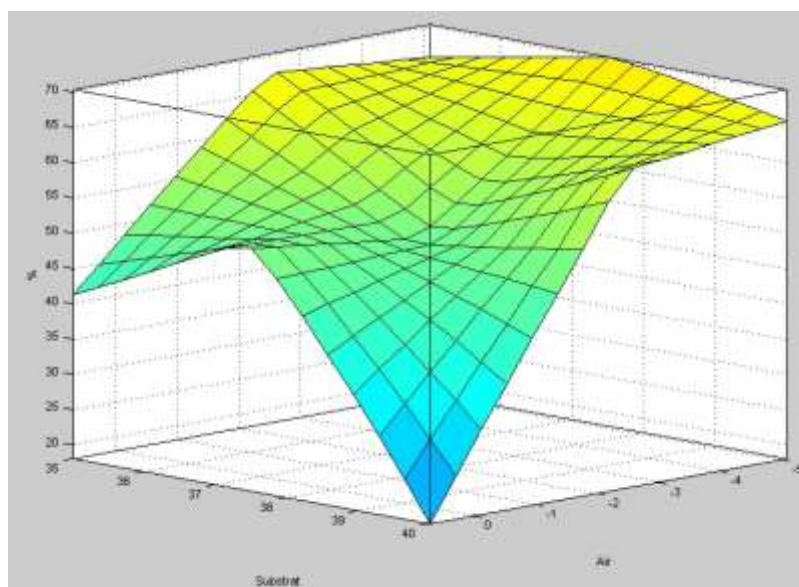
Отримавши налаштовану нечітку нейронну мережу, проаналізували графічні залежності кута повороту заслінки від температур навколишнього середовища і субстрату в біореакторі (рис. 4.6).



a)



б)



в)

Рис. 4.6. Графіки залежності вихідної величини від вхідних параметрів:

а) залежність кута повороту заслінки від температури навколишнього середовища (приведена температура повітря за грудень місяць); б) залежність кута повороту заслінки від температури субстрату в біореакторі; в) 3D-графік вихідного параметра від вхідного

4.3. Дослідження удосконаленої системи автоматичного керування на стійкість

Для дослідження даної моделі використаємо пакет програм Matlab Simulink. Будемо в середовищі Simulink модель енергоефективної системи автоматичного керування знезаражуванням розчинів, що матиме наступний вигляд:

- Датчик температури повітря $W_{\delta}(s) = \frac{0.21}{15 \cdot s + 1}$

- Мікроконтролер $W_{PO}(s) = 1$

- Датчик температури повітря $W_{\delta}(s) = \frac{0.21}{15 \cdot s + 1}$

- Виконавчий механізм $W_{BM} = \frac{1}{10s}$

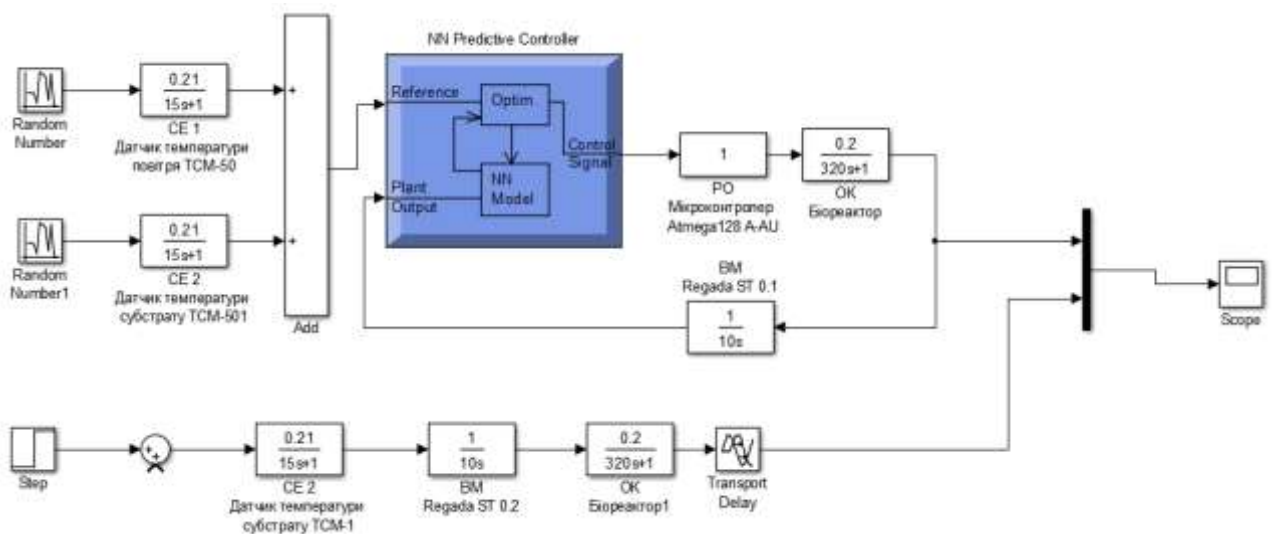


Рис. 4.7. Структурна схема дослідження об'єкта управління у пакеті Matlab Simulink

На вхід системи сигнали будемо подавати за допомогою джерела випадкового сигналу з нормальним розподілом (*Random Number*). Даний блок формує сигнал з нормальним розподілом його рівня.

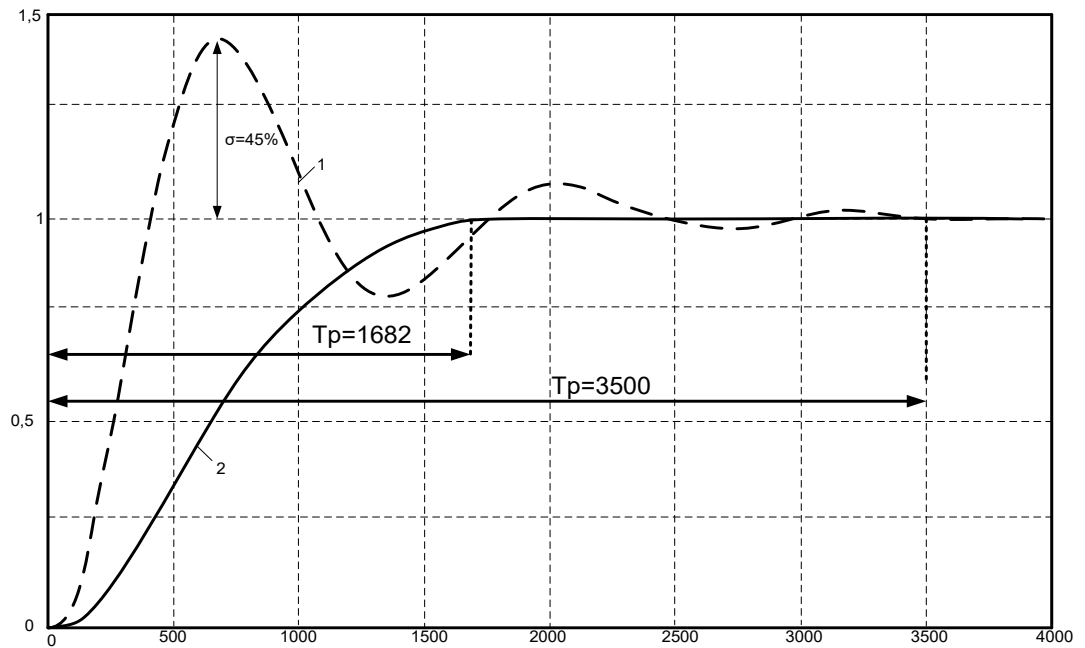


Рисунок 4.8. Перехідний процес САК
(1 – без регулятора, 2 – з регулятором)

Аналізуючи криву перехідного процесу з регулятором, можна оцінити показники якості, до яких належать:

- плавність перехідного процесу або кількість коливань вихідної величини за час t_p , тобто коливальність складає $n=0$.
- точність САК в усталеному стані, тобто статична похибка: $\delta = 0\%$.
- час регулювання t_p – час на протязі якого змінюється регулююча величина. Він складає для нашого об'єкту $t_p = 1682$ с.
- перерегулювання σ – максимальне відхилення регулюючої величини від усталеного значення визначаємо за формулою:

$$\sigma = \frac{1,17 - 1,0}{1,0} \cdot 100\% = 0\%$$

Як видно з приведених розрахунків, всі параметри перехідного процесу задовольняють технологічним вимогам.

РОЗДІЛ 5

ЕФЕКТИВНІСТЬ БІОГАЗОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

5.1. Загальна ефективність

Досвід із впровадження технологій метаногенезу в сільськогосподарську практику показує, що в ієрархії ефективності цього метода перше місце займає його екологічний ефект, потім реалізується ефект від отримання високоякісних добрив, і тільки третє місце займає часто недооцінена енергетична складова процесу.

Фізико-механічні властивості стоків гною залежать в основному від умов утримання тварин на фермі і способів прибирання гною (механічний, самопливний або гідрозмивний) і змінюються в межах: вологість 76,8–98,3%, зольність 14–22%. Обсяги річних стоків визначаються кількістю тварин, що утримуються, і сягають 44–468 м³ на фермах ВРХ і 37–2580 м³ у свинарниках. Вихід біогазу залежить від кількості сухої органічної речовини (с.о.р.) у гної і його якісного складу. Максимальний вихід біогазу (в розрахунку на 1 кг с.о.р.) складає: 0,35 м³ із гною ВРХ, 0,45 м³ із гною молочної худоби; 0,5 м³ із свинячого гною і 0,7 м³ з пташиного посліду. Якісний склад стоків визначається співвідношенням його компонентів: білків, жирів, вуглеводів, целюлози, лігніну. При високому вмісті лігніну, який практично не розпадається при метановому зброджуванні (що характерно для гною ВРХ на відгодівлі), отримуємо мінімальну кількість біогазу - до 0,35 м³, а при високому вмісті білків, жирів і вуглеводів у вихідному гної - до 0,7 м³ біогазу. В установках, що працюють у мезофільному режимі, добовий вихід біогазу складає 1,0 м³, у термофільному режимі - 2,0 м³ біогазу з 1 м³ робочого об'єму метантенка.

5.2. Енергетична доцільність

Слід зазначити, що біогазові установки з невеликим об'ємом реакторів (до 25 м³) мають негативний енергетичний баланс. І тільки установки з об'ємом метантенка 100 м³ і більше, з витриманою технологією зброджування дають енергетичний ефект. Важливою умовою для сприятливого протікання процесу є постійність температури на вибраному рівні, так як будь-які відхилення зменшують метаболічну і репродуктивну активність мікроорганізмів.

Проведемо оцінку енергетичного балансу біогазової установки. Відповідно до технології отримання біогазу, показаної на рис. 5.1, у загальний енергетичний баланс процесу включаються витрати енергії на перекачку гною, починаючи від подачі його в пристрій для попереднього нагрівання, на акумулюючі місткості і метантенк, і закінчуючи вивантаженням збродженої маси у сховище і прокачуванням її через теплообмінники. У кожному конкретному випадку кількість енергії визначається в'язкістю маси, що переміщується, продуктивністю і тривалістю роботи pomp, а також характеристиками теплотраси (довжиною і перерізом трубопроводів тощо).

При розрахунку енергетичного балансу біогазової установки враховувались: типорозмірний ряд тваринницьких ферм, їх кількість, кліматичні зони, способи прибирання гною та його кількість, що підлягає переробці, обсяги стоків та їх фізико-механічні властивості, робочі параметри метантенка і вихід біогазу. Суттєвий вплив на енергоємність процесу справляє підтримання постійної температури зброджування всередині метантенка. На енергетичний баланс установки мають істотний вплив природно-кліматичні умови розміщення тваринницької ферми.

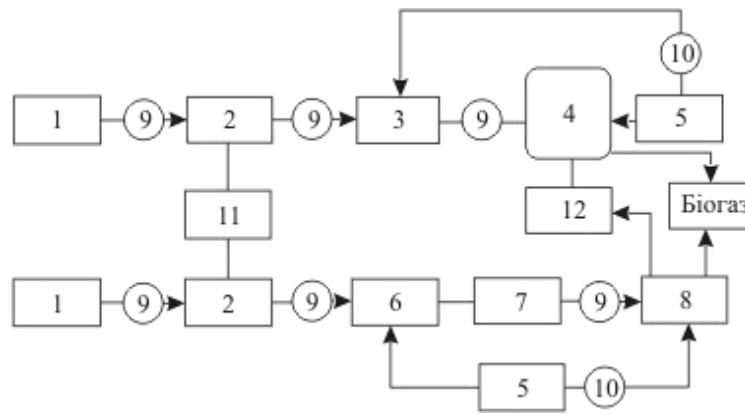


Рисунок 5.1. Структурна схема біогазової установки для розрахунку її енергетичного балансу:

1 – гносприймач; 2 – відокремлювач механічних включень; 3 – теплообмінник; 4 – метантенк; 5 – газовий котел; 6 – підігрівач; 7 – розподільник; 8 – метантенк; 9 – помпа для подачі гною; 10 – водяна помпа; 11 – відбирання твердих включень; 12 – зброджена маса

В основу енергетичної оцінки покладено структурну схему біогазової установки (рис. 5.1) і параметри робочого режиму метантенка (таблиця 5.1).

Тепловий баланс біогазової установки визначають залежністю:

$$Q_1 = (K_1 \cdot Q_2 + Q_3) \cdot K_2 \quad (4.1) \quad (5.1)$$

$$Q_1 = (0.5 \cdot 22816 + 8239) \cdot 1.5 = 29470.5 \text{ МДж}$$

де Q_1 - енергія, отримана з біогазу;

Q_2 - енергія, що витрачається на нагрівання гною до температури бродіння;

Q_3 - енергія, що витрачається на компенсацію тепловтрат у навколишнє середовище;

K_1 - коефіцієнт, що враховує утилізацію теплоти збродженої маси для нагрівання вхідної сировини в теплообміннику ($K_1=0,5$);

K_2 - коефіцієнт, що враховує тепловтрати з біологічним газом у трубопроводах ($K_2 = 1,15$).

Параметри роботи метантенку при мезофільному режимі

Найменування параметру	Стадії процесу		
	I (гідроліз)	II (кисле бродіння)	III (метаногенез)
Температура бродіння, °C	15–35	30–37	30–37
Перемішування: кратність, разів тривалість циклу, хв. спосіб швидкість, м/с	1–6 5–30 механічний <0,5	1–6 5–30 механічний <0,5	1–12 5–30 газовий -
Режим завантаження	безперервний		
Доза добового завантаження, %	5–15	5–15	5–15

Теплова енергія (МДж), що отримується з біогазу і витрачається на нагрівання гною, розрахована у попередніх розділах:

$$Q_2 = E_{\text{бгу}} = 22816 \text{ МДж},$$

$$Q_3 = E_{\text{бгу.тепл}} = 8239 \text{ МДж}.$$

Тепловтрати в навколишнє середовище визначаються величиною коефіцієнта тепловіддачі, який, при застосуванні мінеральної вати в якості теплоізоляційного матеріалу, складає 0,3 Вт/(м² · К).

На тепловий баланс установки суттєво впливає величина сухої органічної речовини гною, що зброджується. При її вмісті на рівні 20 кг/м³ і менше біогазові установки мають від'ємний тепловий баланс у всіх кліматичних зонах при будь-яких режимах бродіння. Найбільш вигідний тепловий баланс мають установки, що переробляють гній з сухою органічною речовиною (СОР) в обсязі 80 кг/м³, у районах з теплим кліматом, що працюють в мезофільному режимі. У цьому випадку частка витрат енергії на власні потреби складає 21,1%.

Таким чином, при здійсненні процесу ферментації біомаси у метантенку складові витрат енергії розподіляються на:

- теплові:

- попереднє нагрівання гною - 72%;
- втрати в технологічних трубопроводах - 3,57%;
- втрати в теплоізоляційному прошарку - 14,1%;
- електричні:
- подача гною в нагрівальну установку - 1,16%;
- циркуляція гною в нагрівальній установці - 1,95%;
- завантаження гною в метантенк - 1,16%;
- створення розрідження в нагрівальній установці - 1,95%;
- вивантаження зброженого гною - 0,59%;
- переміщення зброженого гною - 3,1%.

Тобто, витрати електроенергії складають 8,91% від загальних.

5.3. Економічна ефективність

Застосування технологій біогазового виробництва, що обумовлене необхідністю опанування нових джерел енергії, навіть в умовах, коли традиційні палива займають домінуюче положення, потрібно обґрунтувати з економічної точки зору. Сьогодні на енергетичному ринку країн Європи, зокрема у Чеській Республіці, потенційне використання біогазу може зайняти досить помітну позицію.

Економічна ефективність автоматизації вимірюється ступенем зменшення сукупної живої і минулої праці, що витрачається на виробництво одиниці продукції. При автоматизації сільськогосподарських виробничих процесів вартість капітальних затрат зазвичай зростає, а експлуатаційні витрати на одиницю продукції значно скорочуються. Таким чином, ефективність автоматизації характеризується сумарним скороченням затрат на виробництво одиниці продукції.

Загальна вартість технічних засобів автоматизації становить:

$$K_z = K_{дв} + K_d + K_p + K_{обл} + K_{щ} \quad (5.2)$$

де $K_{дв} = 13300$ грн. – вартість двигунів;

$K_d = 210$ грн. – вартість датчика;

$K_p = 1500$ грн. – вартість регулятора;

$K_{щ} = 400$ грн. – вартість щита керування ;

$K_{обл} = (5830)+(28000)=33830$ грн. – обладнання;

Отже: $K_z = 1330 + 210 + 1500 + 33830 = 62140$ грн.

Торгівельно-транспортні витрати будуть становити:

$$K_{т.т.} = 0.11 \cdot K_z = 0.11 \cdot 62140 = 6835 \text{ грн.}$$

Витрати на монтаж технічних засобів становлять:

$$K_m = 0.17 \cdot K_z = 0.17 \cdot 62140 = 10563 \text{ грн.}$$

Витрати на прокладення проводок:

$$K_{пр} = K_{п \cdot l}; \quad K_{пр} = 8 \cdot 120 = 960;$$

де: $K_{п} = 8$ грн./м – вартість проводки та їх монтажу;

l – довжина проводки $l = 1200$;

Інші капітальні витрати будуть становити 2% від суми капітальних вкладень $K_i = 0.02 \cdot 62140 = 1242$ грн.

Капітальні витрати будуть становити:

$$K = K_z + K_i + K_{т.т.} + K_m + K_{пр} \quad (5.3)$$

$$K = 62140 + 1242 + 6835 + 10563 + 960 = 81740$$

Визначивши суму капіталовкладень можна знайти відрахування на амортизацію:

$$C_a = 0.142 \cdot K = 0.142 \cdot 81740 = 11,607 \text{ грн.}$$

Витрати на поточний ремонт будуть становити:

$$C_{пр} = 0.18 \cdot K = 0.18 \cdot 81740 = 14713 \text{ грн.}$$

Витрати на енергоресурси будуть становити $C_e = P \cdot \Gamma \cdot 0.21$,

де: P – потужність автоматизації = 2,5кВт.

Γ – кількість годин роботи = $365 \cdot 24 \cdot 0,7 = 6132$ год.

Отже, $C_e = 2,5 \cdot 6132 \cdot 0.21 = 3219$ грн.

Витрати на оплату праці персоналу, який зв'язаний з експлуатацією системи автоматизації (в нашому випадку 2 оператора) становить:

$$C_3 = 1 \cdot 8 \cdot 25 \cdot 300 = 60000 \text{ грн.}$$

де: 1 – кількість операторів;

25 - грн/год. – ставка оператора;

8 – години роботи на добу;

300 – кількість діб роботи на рік.

Отже, річні експлуатаційні витрати будуть становити:

$$C = 11607 + 14713 + 3219 + 60000 = 89539 \text{ грн.}$$

Знайшовши річні експлуатаційні витрати і капітальні вкладення можна знайти зведені витрати:

$$Взв = C + E_n \cdot K = 89539 + 0.15 \cdot 81740 = 101800 \text{ грн.}$$

Тоді чистий прибуток буде визначатись за формулою:

$$Ч = \Delta C_3 + \Delta C_e \quad (5.4)$$

де: ΔC_e – прибуток за рахунок економії електричної енергії;

$$\Delta C_3 = C_3 - (1.2 \cdot \Gamma \cdot 0.21) = 60000 - (1.2 \cdot 6132 \cdot 0.21) = 58455 \text{ грн,}$$

$$\Delta C_e = C_e - (P \cdot \Gamma \cdot 0.1 \cdot \Delta П) = 3219 - (2.5 \cdot 6132 \cdot 0.1 \cdot 0.4) = 2606 \text{ грн,}$$

$\Delta П = 0.4 = 40\%$ - економія часу енергоспоживання при автоматизації.

$$\text{Тоді: } Ч = 58455 + 2,606 = 61061 \text{ грн.}$$

Термін окупності установки визначається за формулою:

$$\text{Токуп} = K/Ч = 81740/61061 = 1,3 \text{ рік.}$$

З отриманих розрахунків ми бачимо, що чистий прибуток складає 61061 грн., а сама установка автоматики окупиться за 1,3 року.

5.4. Екологічна безпека

Агропромислове виробництво є джерелом значної кількості шкідливих викидів газів та органічних відходів у навколишнє середовище, чим істотно погіршує стан екології довкілля (рисунок 5.3). Аналізуючи сучасну ситуацію з наведенням лише трьох складових забруднень атмосфери, слід підкреслити, що екологічні втрати від такої діяльності у сільській місцевості не співвідносяться з відповідними у промисловості за питомою вагою валових продуктів аграрної та промислової галузей. Тому, технології, що полегшують антропогенний вплив на екологію, повинні активно впроваджуватись у сільській місцевості. Саме процеси метаногенезу біомаси дозволяють ефективно протистояти збільшенню шкочочинних емісій газів сільськогосподарського походження.

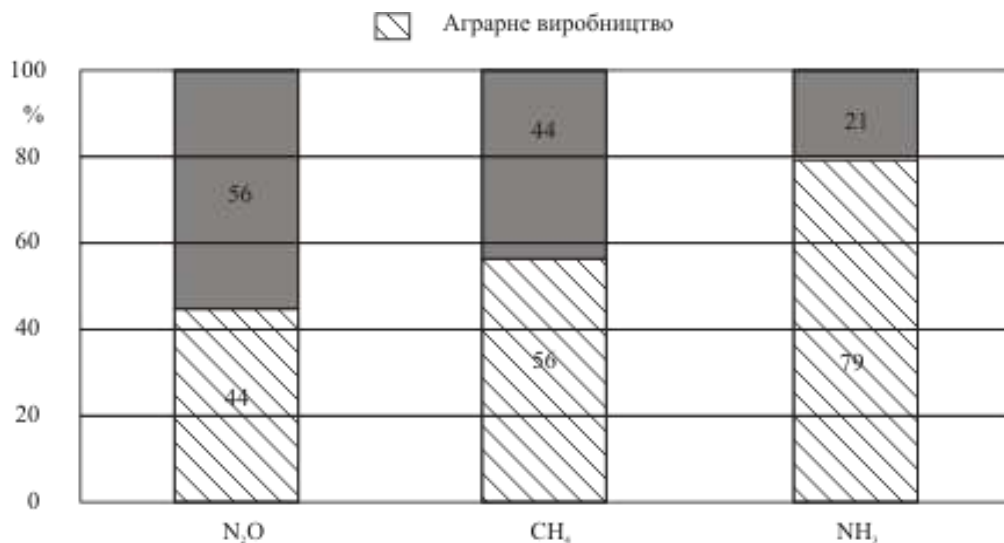


Рис. 5.2. Емісії газів N₂O, CH₄ та NH₃ у загальному балансі галузей, де частку (%) аграрного виробництва розміщено знизу

Дехто вважає, що головним призначенням ферментаційних установок є отримання біогазу, який служить додатковим джерелом місцевого енергопостачання. Оцінюючи з цієї точки зору економічну ефективність переробки біомаси, вони не враховують, що біогазові установки є

альтернативним обладнанням для переробки гною і відходів. Тому, витрати на їх створення і експлуатацію повинні бути віднесені до заходів знезаражування гною, виробництва високоякісних добрив і захисту навколишнього середовища. У цьому випадку біогазові установки завжди будуть мати позитивний економічний ефект. Розрахунки показують, що, незважаючи на значні капітальні вкладення, термін окупності промислової біогазової установки складає біля трьох років.

Утилізацію гноївки, що перебродила в метантенку, вирізняють свої особливості. Вона у порівнянні з гноєм має кращі поживні та сорбційні властивості. Азот виступає в редукованій формі і краще засвоюється рослинами, меншим є склад активного насіння бур'янів, що дає можливість зменшувати дози засобів захисту рослин, а завдяки тому, що маса перебродила, стає менш відчутним запахом. Використання гноївки, що перебродила, в якості органічних добрив, дозволяє швидше відновити вміст гумусу в ґрунті у порівнянні з традиційним використанням мінеральних добрив. Перероблена в процесі ферментації і призначена для підживлення рослин гноївка, повинна зберігатися в резервуарах, обладнаних додатковими стічними системами. Ємність резервуару повинна бути розрахована так, щоб запас добрив можна було зберігати тривалістю до 6 місяців, оскільки їх внесення регламентується періодами вегетації рослин (ємність резервуару повинна складати близько 1,5 м³ на голову ВРХ). Добриво має підвищений вміст редукованого азоту і тому використання його у невідповідний час може призвести до окислення азоту в солі азотної кислоти і викликати забруднення ґрунтових вод. Для охорони навколишнього середовища необхідним є відповідне забезпечення зберігання гноївки, що перебродила. Азот у редукованому вигляді до мочевины може вільно випаровуватися з добрива, що зберігається, цьому можна перешкодити створенням захисного шару з соломи (січка, в'язанки) або елементів зі штучного матеріалу (наприклад кульки з пінополістиролу), що відокремлюють поверхню добрива від повітря. При виборі захисного шару, слід приймати до уваги забезпечення можливості

механічної гомогенізації та перекачування гноївки – наприклад пінополістиролові елементи можуть перешкоджати роботі насосів, а січка із соломи у свою чергу через деякий час опускається на дно резервуару.

Важливим результатом застосування технологій метаногенезу є те, що перероблені в біогазовій установці органічні відходи зі свиноферми практично не мають неприємного запаху (рис. 5.3) і, водночас, є цінними за вмістом в них поживних речовин добривами для сільськогосподарських культур.

Перероблені в біогазовій установці органічні добрива мають більший вміст аміаку в порівнянні з первинною сировиною. Через це постає проблема підвищеного виділення аміаку при внесенні добрив. При внесенні вироблених в біогазовому реакторі добрив звичайним способом (розкидачем з тарілчастим апаратом) втрати аміаку на 85 % більші, ніж при їх локальному внесенні штанговим шланговим розкидачем безпосередньо на ґрунт.

У централізованих установках, які обслуговують декілька десятків господарств, неперероблена гноївка надходить від різних постачальників і тому існує вірогідність розповсюдження патогенів (бактерій, паразитів, вірусів та грибів) на всій території обслуговування. У цих випадках необхідним є застосування так званого процесу знезаражування (гігієнізації). Знезаражування полягає в тому, що завантажуваний матеріал (гноївка, що не перебродила) обробляється повітрям підігрітим до температури 70 °C протягом приблизно 60 хв. Час знезаражування залежить від температури при якій воно проводиться – чим нижча температура, тим довше слід знезаражувати відкладення. Знезаражування узаконене правовими актами використання добрив, що перебродили, у Німеччині та Данії. Знезаражування проводиться в спеціальних резервуарах перед ферментаційними камерами, а її застосування повинно забезпечувати суттєве зменшення патогенних організмів.

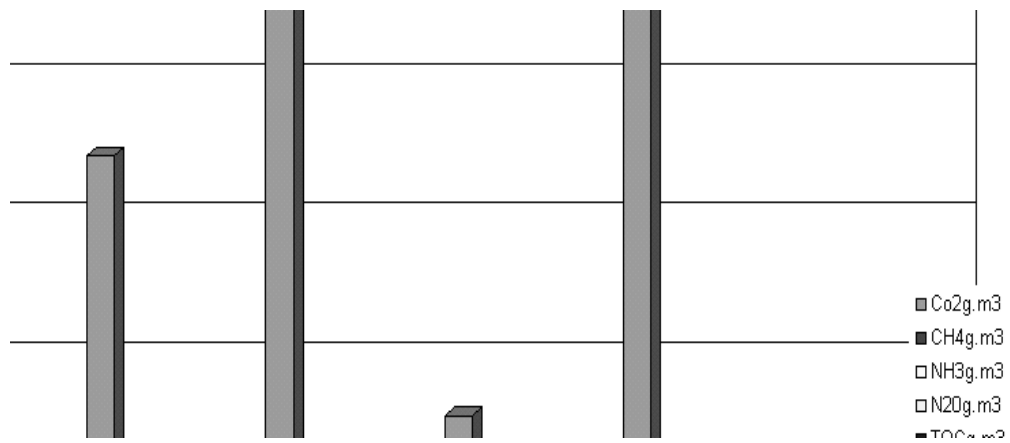


Рис. 5.3. Емісії газів з органічних добрив за час зберігання на свинофермі

Альтернативою застосуванню досить енергоємного знезаражування є компостування гноївки, що перебродила, протягом одного місяця у безкисневому середовищі з наступним насиченням її повітрям. Отримані таким чином продукти є безпечними з бактеріологічної точки зору, легко дегідратуються і продаються як добриво. Осади, що застосовуються як добриво у сільському господарстві повинні відповідати вимогам, щодо вмісту важких металів, наявності організмів здатних викликати хвороби, а також допустимої дози азоту на 1 га земельних угідь на протязі року. Осадки стоків, які будуть використовуватися у землеробстві повинні систематично контролюватися, причому частота контролю залежить від розміру установки. Крім того, раз на 5 років слід робити обстеження ґрунтів, на яких застосовувались такі добрива, оскільки дози добрив з осадків стоків залежать від виду ґранту, способу використання та потреби рослин у біогенних складових.

Найбільший ефект для оточуючого середовища можна одержати при комплексному аналізі та синтезі систем біоконверсії органічної речовини сільськогосподарського походження. Для реалізації інтегрованого екологічного тваринництва на основі використання механізованих біоконверсних технологій необхідна реалізація наступних розробок:

Технологій та обладнання для прискореної багатотоннажної біотехнологічної переробки органічних відходів рослинництва, тваринництва та переробних галузей з метою отримання біологічно активних гуміномістких та високоефективних добрив (біогумусів), з вмістом гумусу 20-40 %, які можуть слугувати основним компонентом органо-мінеральних сумішей або використовуватись самостійно для санації та прискореного відновлення родючості ґрунтів.

При цьому можуть використовуватись біотехнологічні процеси:

- анаеробної (метанової) ферментація рідких і напіврідких відходів;
- прискореного компостування твердих відходів в реакторних системах з примусової аерації;
- вермикультивування твердих відходів;
- анаеробної і аеробної ферментації з використанням як інокуляту ЕМ-препаратів.

Норми внесення отриманих гуміфікованих добрив складають 0,5-5 т/га проти 40 т/га традиційних компостів, а потреба в мінеральних добривах зменшується на 20-80 %.

Технологій і обладнання для промислового напрацювання в умовах районних біолабораторій екологічно безпечних бактеріальних препаратів (азотфіксуючих, целюлозоруйнуючих, фосфор-мобілізуєчих, біопестицидів та ентомоакарифагів). При цьому можлива заміна понад 30% хімічних пестицидів і не менше 25% мінеральних добрив на їх біологічні аналоги, зниження на 30 % енерговитрат на вирощування продукції рослинництва, а також отримання екологічно безпечних кормів і продукції на полях. А в закритому ґрунті можлива повна відмова від застосування хімічних пестицидів. Технологій і обладнання для утилізації газових викидів тваринництва з метою усунення неприємних запахів і зменшення емісій аміаку та інших газів на основі використання ЕМ-препаратів. Технології та обладнання для отримання поживних розчинів для вирощування екологічно чистих кормів і гідропонної овочевої продукції в закритому ґрунті на основі

мікробіологічної ферментації відходів ферм. Проектів екологічно чистих тваринницьких ферм, інтегрованих в збалансовані агроєкосистеми з обов'язковою наявністю вище зазначених складових (рисунок 5.4).

В Україні вже створені дослідні і промислові зразки обладнання для реалізації основних елементів систем екологічного тваринництва. Це обладнання для виробництва в господарствах біопрепаратів і вирощування ентомоакарифагів (Інженерно-технологічний інститут “Біотехніка” УААН, м. Одеса), пілотний біоконверсний комплекс (Національний аграрний університет України), технології і обладнання для вермикультивування (Український науково-дослідний інститут з прогнозування і випробування техніки ім. Л.В. Погорілого).

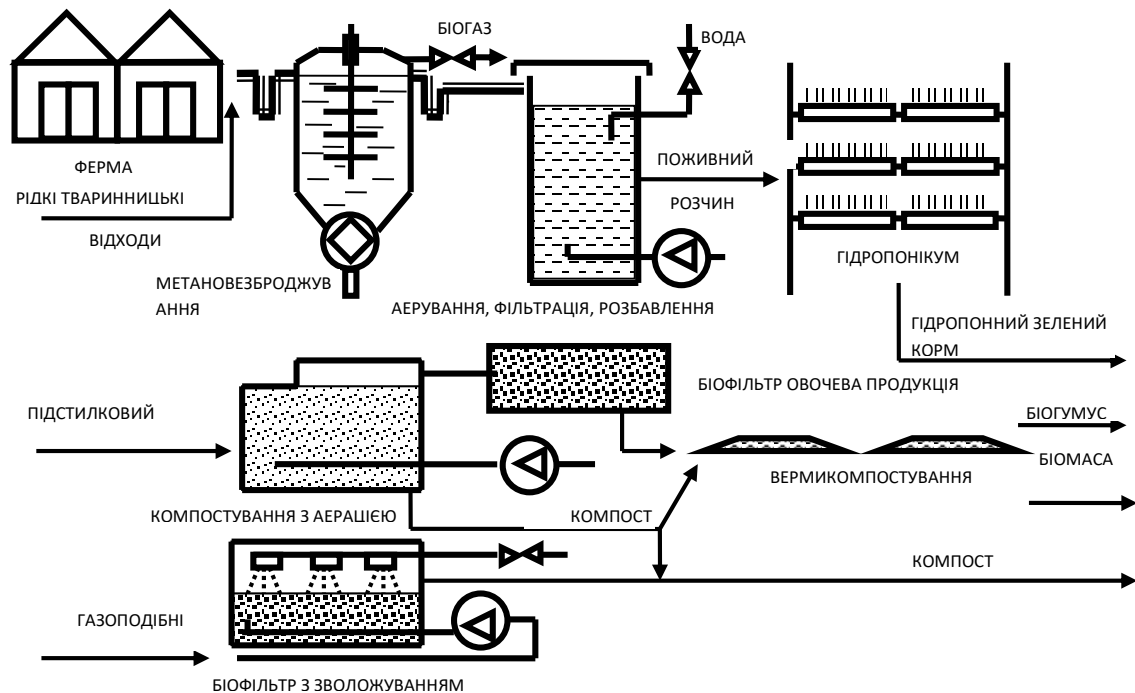


Рис. 5.4. Технологічна схема екологічно безпечної тваринницької ферми з комплексним застосуванням процесів біоконверсії відходів

Таким чином, вищевказані напрямки технологічних і технічних розробок дозволяють забезпечити виробництво екологічно чистої продукції тваринництва і рослинництва для дитячого, дієтичного і профілактичного харчування, усунути забруднення навколишнього середовища при одночасному зменшенні енергетичних і матеріальних витрат.

ВИСНОВКИ

У даній магістерській роботі розглянута біогазова установка як технологічний об'єкт управління для виробництва біогазу. Розроблена система автоматичного управління температурою процесу анаеробного бродіння у реакторі з метою підвищення ефективності функціонування даного об'єкта і покращення виробництва.

За результатами проведеного дослідження у магістерській роботі, були сформовані висновки:

Після проведеного аналізу стану сучасних технологій утилізації відходів сільськогосподарського виробництва встановлено, що найбільш енергозберігаючим є перероблення органіки на біогаз, яке дозволяє децентралізувати енергоспоживання та отримати екологічно якісні добрива. На сьогоднішній день існує багато технологічних рішень для проектування біогазової установки, але відсутні науково-обґрунтовані рекомендації параметрів автоматизації та вибору робочих органів для нагрівання субстрату з метою температурної стабілізації анаеробного процесу при безперервній подачі сировини до реактора установки.

Розрахунок математичних та створення імітаційних моделей дозволяє отримати температурні показники проходження процесу анаеробного бродіння у віртуальному режимі, що в свою чергу дає можливість вибрати оптимальний режим отримання біогазу спостерігаючи за результатами зміни вхідних параметрів.

Виконаний розрахунок економічної ефективності впровадження розробленої САК для модернізованої установки показує, що термін окупності становить 1 рік і 3 місяці, а чистий прибуток складає 61061 грн. Такі результати є підтвердженням того, що розроблена автоматизація установки на основі сучасних технологій є економічно вигідною

ЛІТЕРАТУРА

1. Біопалива (технології, машини і обладнання) Підручник / В. Дубровін, М. Корчемний, І. Масло, О. Шептицький, А. Гжибек, та інші. – К.ЦТІ «Енергетика і електрифікація», 2004. – 256с.:іл. 157
2. Варфоломеєв Ю. М. Опалення і теплові мережі / Ю. М. Варфоломеєв, О. Я. Кокорін. Київ : Інфра, 2010. – 480 с.
3. Гелетуха Г.Г., Железна Т.А. Біоенергетика у Фінляндії // Зелена енергетика – 2002. – №3. – С. 16.
4. Гелетуха Г.Г., Железна Т.А. Біоенергетика в Австрії // Зелена енергетика – 2003. – №2. – С. 18–19.
5. Григор'єва В.В. та ін. Загальна хімія. – К.: Вища школа., 1991.– 431 с.
6. Драганов Б.Х., Міщенко А.В., Борхаленко Ю.О. Основи теплотехніки і гідравліки: Навчальний посібник / За ред. Б.Х. Драганова. – К.: Аграрна освіта, 2010. – 495с.
7. Закон України « Про альтернативні джерела енергії» Офіц. текст станом на 20.02.2003 – Режим доступу: <http://zakon1.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=555-15>
8. Матвеев Ю. Біогазові установки Данії // Зелена енергетика – 2004.–№ 2. – С. 11–13.
9. Матвеев Ю.Б. Біогаз із Луганського полігона ТПВ // Зелена енергетика –2003. – №2. – С 8–10.
10. Мартиненко І.І., Лисенко В.П., Тищенко Л.П., Лукач В.С. Проектування систем електрифікації та автоматизації сільського господарства. – К.: Вища школа, 1999. – 201 с.
11. Основи енерго-технології виробництва / В.А. Маляренко, Н.Л. Товажнянський, О.Б. Анипко. Підручник – Харків: НТУ ХПИ, 2002. – 436с.
12. Ратушняк Г.С., Джеджула В.В. Інтенсифікація виробництва та підготовка біогазу до використання в теплотехнічному обладнанні// Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання. – 2005 – № 8. – С. 52 – 60.
13. Ратушняк Г.С., Джеджула В.В. Енергозбереження в системах біоконверсії: Навч. посібник – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця. 2006. – 87 с.
14. Ратушняк Г.С., Джеджула В.В. Підвищення продуктивності біогазового реактора управлінням параметрами вільноконвективних процесів теплообміну // Вісник Хмельницького національного університету. – 2006. – №2. – С. 29–32
15. Сербін В.А. Нетрадиційні та поновлювальні джерела енергії в системах ТГВ: Навч. посібник – Макіївка: ДонДАБА, 2003. – 153 с.

16. Столяр О.М. Алгоритми регулювання параметрів технологічного процесу в енергетичних установках / Столяр О.М. // Матеріали VI Всеукраїнської школи-семінару молодих вчених і студентів АСІТ'2016. – Тернопіль: ТНЕУ, 2016. – С. 51-52.
17. Теплоенергетичні установки та екологічні аспекти виробництва енергії. Підручник./ Г.Б. Варламов, Г.М. Любчик, В.А. Маляренко. – Київ.: «Політехніка», 2003. – 232 с.
18. ТУ "Біогаз метантенків." ТУУ–204. 14069366–13–97.
19. V.Lysenko (2019) Methodological solutions for the IoT concept for biogas production using the local resource / S.Shvorov, O.Opryshko, V.Lukin, N.Pasichnyk // 2019 IEEE International Scientific-Practical Conference: Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2019 - Proceedings, 2019, pp. 561-566, (<http://doi.org/10.1109/PICST47496.2019.9061238>)
20. A.Dudnyk, V.Lysenko, N.Zaets, D.Komarchuk, T.Lendiel and I.Yakymenko (2018), "Intelligent Control System of Biotechnological Objects with Fuzzy Controller and Noise Filtration Unit," 2018 International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T), 586-590, doi:10.1109/INFOCOMMST.2018.8632007
21. V.M.Polishchuk, S.A.Shvorov, I.V.Flonts, T.S.Davidenko, Ye.O. Dvornyk (2021) Increasing the Yield of Biogas and Electricity during Manure Fermentation Cattle by Optimally Adding Lime to Extruded Straw. Problemele Energeticii regionale. 1, Iss. 49. pp. 73-85. doi:10.52254/1857-0070.2021.1-49.02
22. N. Pasichnyk, D. Komarchuk, O. Opryshko, S. Shvorov, V. Reshetiuk and B. Oksana, "Technologies for Environmental Monitoring of the City," 2021 IEEE 16th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems (CADSM), 2021, pp. 40-43. doi:10.1109/CADSM52681.2021.9385213
23. D.Komarchuk, N.Pasichnyk, V.Lysenko, O.Opryshko, S.Shvorov, V.Reshetiuk, O.Udovenko, T.Knizhka, M.Kharinova (2020) Algorithms and Software for UAV Flight Planning for Monitoring the Stress Conditions of Plantations, 2020 IEEE 6th International Conference on Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC), , pp. 146-149. doi: 10.1109/MSNMC50359.2020.9255605.
24. N.A.Pasichnyk, D.S.Komarchuk, O.A.Opryshko, S.A.Shvorov and N.A.Kiktey, (2021) Methodology for Software Assessment of the Conformity of Atmospheric Correction from the UAV's Zenith Sensor, 2021 IEEE 6th International Conference on Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Development (APUAVD), pp. 1-5. doi: 10.1109/APUAVD53804.2021.9615177.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

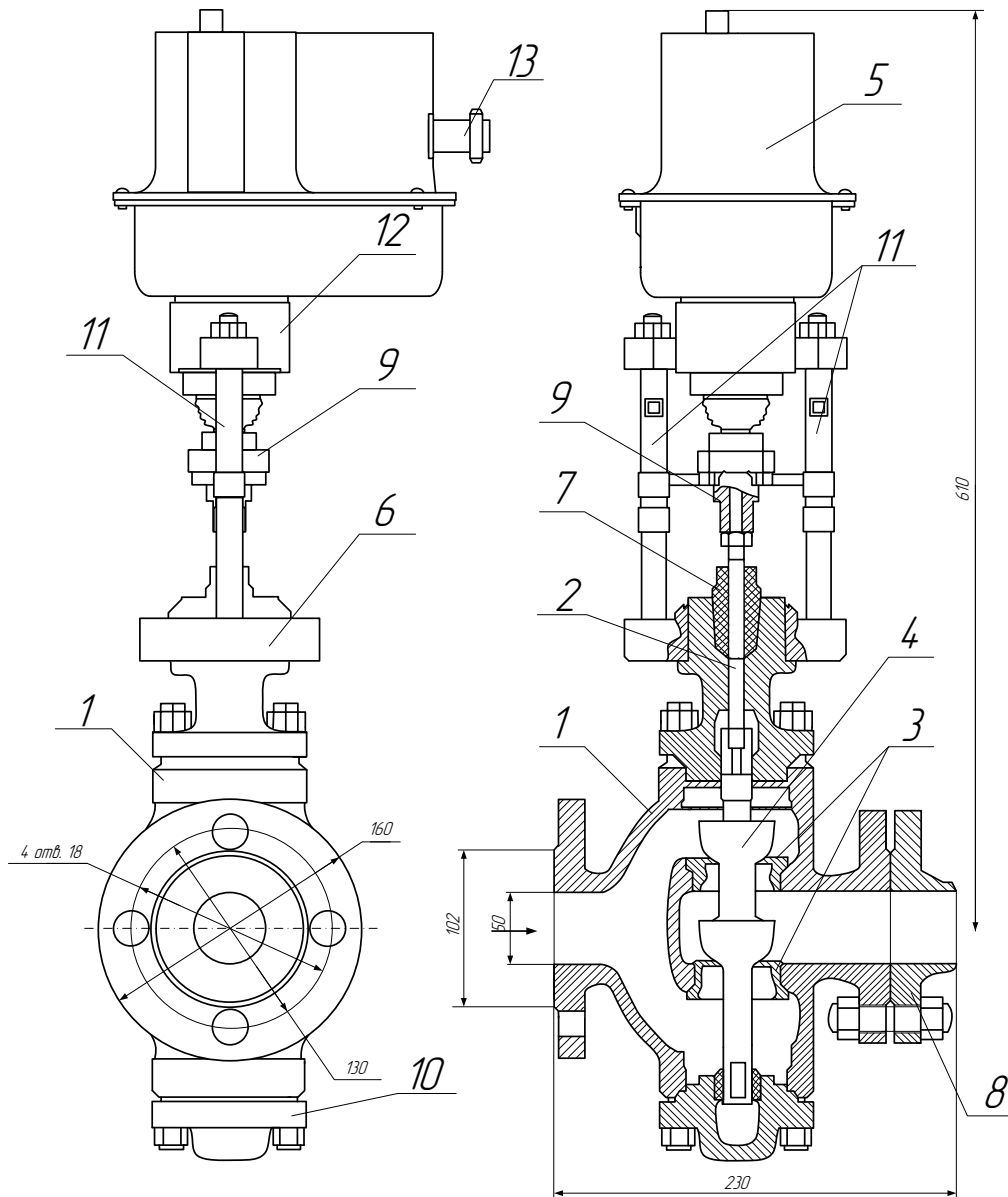


Рисунок А1. Загальний вигляд клапана 25ч940нж

1 – корпус клапана; 2 – шток; 3 – ущільнюючі сідла; 4 – параболічний плунжер; 5 – виконавчий механізм; 6 – кришка; 7 – ущільнюючий сальник; 8 – кріплення до лінії; 9 – направляюча втулка; 10 – нижня кришка клапана; 11 – монтажні опори; 12 – лінійний редуктор; 13 – клемний роз’єм;

Додаток Б

Таблиця Б1. Експериментальні дані, за якими проводилося навчання нейронної мережі

Тем. повітря, С ⁰	Тем. субстрат у, С ⁰	Кут повороту заслінки, %	Тем. повітря, С ⁰	Тем. субстрат у, С ⁰	Кут повороту заслінки, %	Тем. повітря, С ⁰	Тем. субстра ту, С ⁰	Кут повороту заслінки, %
-1.1	40	36	-1.1	37	38	-1,65	37	36
-1.8	39	39	-1.8	37	41	-1,5	37	39
-1.9	38	42	-1.9	38	44	-2,85	38	42
-1.6	36	51	-1.6	38	54	-2,4	38	52
-1.3	35	64	-1.3	38	67	-1,95	38	65
-0.8	38	45	-0.8	38	47	-1,2	38	45
0.1	36	46	0.1	37	48	0,15	37	46
-1	38	44	-1	37	46	-2	37	44
-2	37	45	-2	38	47	-3	38	45
-3.2	37	52	-3.2	39	55	-4,8	39	53
-4	40	65	-4	38	68	-6	38	66
-4	35	75	-4	38	79	-6	38	76
-3.6	39	55	-3.6	38	58	-5,4	38	56
-3.6	37	59	-3.6	37	62	-5,4	37	60
-3.4	38	61	-3.4	38	64	-5,1	37	62
-3	40	66	-3	38	69	-4,5	38	67
-3.4	39	65	-3.4	38	68	-5,1	38	66
-4.1	37	68	-4.1	38	71	-6,15	38	69
-3.5	40	64	-3.5	37	67	-5,25	38	65
-3.2	40	66	-3.2	37	69	-4,8	38	67
-2.5	39	59	-2.5	37	62	-3,75	38	60
-2	38	58	-2	39	61	-2	38	59
-1.8	37	55	-1.8	39	58	-2,7	38	56
0.7	37	52	0.7	39	55	1,05	38	53
-1.8	40	58	-1.8	38	61	-2,7	38	59
-2.4	39	60	-2.4	38	63	-3,6	38	61
-3.8	37	64	-3.8	37	67	-5,7	38	65
-3.1	37	65	-3.1	38	68	-4,65	38	66
-3.4	37	66	-3.4	38	69	-5,1	38	67
-1.9	37	58	-1.9	37	61	-2,85	38	59
-1.5	38	58	-1.5	38	61	-2,25	38	59
-0.6	39	55	-0.6	38	58	-0,9	38	56
-3.3	35	65	-3.3	37	68	-4,95	38	66
-4.9	40	66	-4.9	39	69	-7,35	38	67
-4.6	35	58	-4.6	38	61	-6,9	38	59
-3.9	39	62	-3.9	38	65	-2	38	63
-3.4	35	65	-3.4	38	68	-5,1	38	66

-3.6	38	59	-3.6	37	62	-5,4	38	60
-3.6	36	60	-3.6	37	63	-5,4	38	61
-2.2	35	65	-2.2	37	68	-3,3	38	66
-3.6	39	60	-3.6	37	63	-5,4	38	61
-5.1	37	68	-5.1	37	71	-7,65	38	69
-4.8	35	70	-4.8	37	74	-7,2	38	71
-4.7	38	67	-4.7	38	70	-7,05	38	68
а)			б)			в)		

а – навчальні, б – контрольні, в – перевіряльні.

Додаток В

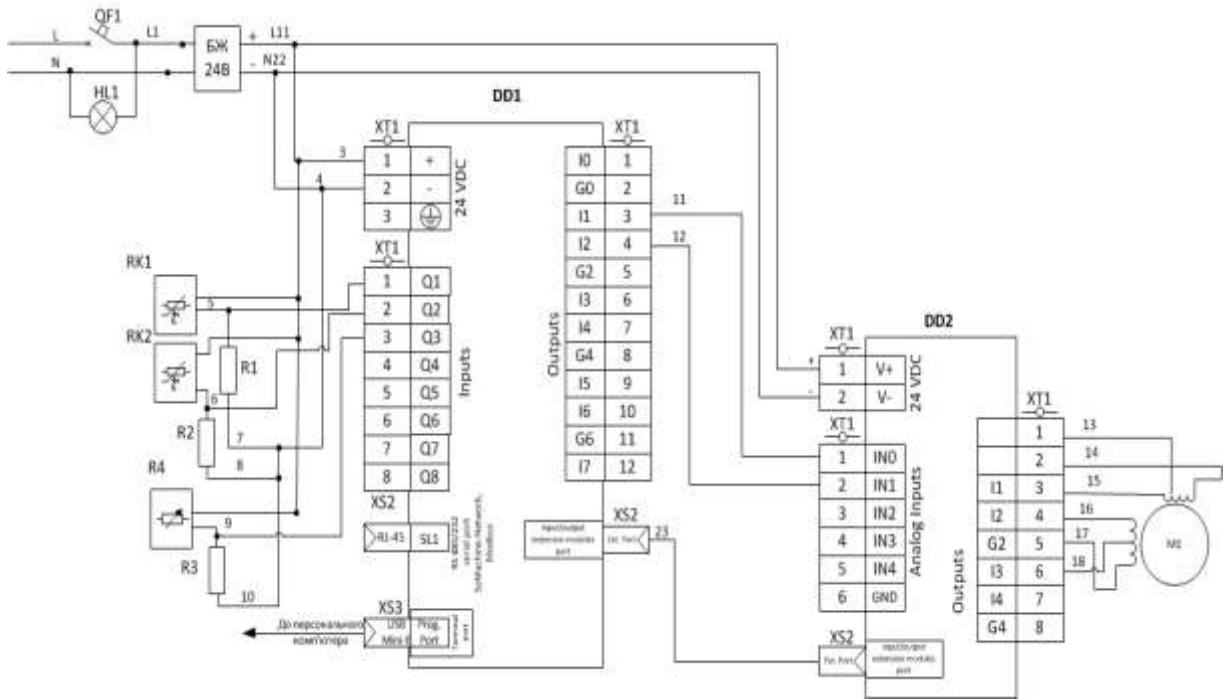


Рисунок В1. Система автоматичного регулювання температури субстрату в біореакторі. Схема електрична принципова

Додаток Г
Технічні характеристики програмно-логічного контролера
ОВЕН ПЛК160

Загальні відомості

Габаритні розміри, не більше	(208 × 110 × 73) ± 1 мм
Вага, не більше	0,75 кг
Ступінь захисту корпусу за ГОСТ 14254-96	IP20 зі сторони передньої панелі, IP00 зі сторони клем
Індикація на передній панелі	Світлодіодна
Середнє напрацювання на відмову	100 000 год.
Середній термін служби	10 років

Живлення

Напруга живлення: ПЛК160-24.X-X	з 22 по 28 В постійного струму (номінальна 24 В)
ПЛК160-220.X-X	від 90 до 264 В змінного струму (номінальна 110/220 В) частотою 47-63 Гц (номінальне значення 50 Гц)
Споживана потужність, не більше	40 ВА
Параметри вбудованого джерела живлення	Вихідна напруга 24±3 В, струм споживання не більше 400 мА
Акумулятор резервного живлення	LIR2477 (термін служби залежить від умов експлуатування, але не більше 5 років)

Цифрові (дискретні входи)

Кількість входів	16
із них швидкодіючих	4 (DI1-DI4)
Тип входів за ГОСТ р 52931-2008	1 і 2
Напруга живлення дискретних входів	24 ± 3 В
Максимальний вхідний струм дискретного входу	не більше 7 мА при живленні 24 В, не більше 8,5 мА при живленні 27 В
Сигнал "логічної одиниці", який відповідає стану "Увімкнено", дискретних виходів для постійної напруги (струм у колі)	від 15 до 30 В (струм від 3 до 15 мА)
Сигнал "логічного нуля", який відповідає стану "Вимкнено", дискретних входів для постійної напруги (струм у колі)	від мінус 3-5 В (струм 15 мА)
Мінімальна тривалість імпульсу,	

який сприймається дискретним входом

- для звичайних входів 1 мс
- для швидкодіючих 0,02 мс

Вхідні пристрої, які підмикаються

- комутаційні пристрої (контакти кнопок, вимикачів, герконів, реле, тощо);
- датчики, які мають на виході транзистор n-p-n або p-n-p– типу з відкритим колектором;
- дискретні сигнали 24 ± 3 В

Гальванічна розв'язка

Групова

Електрична міцність ізоляція між групою дискретних входів та:

- колами живлення 1780 В
- групами кіл дискретних виходів 1780 В
- групами інших кіл 560 В

Дискретні виходи (контакти електромагнітних реле)

Кількість релейних вихідних каналів 12

Гальванічна розв'язка

Індивідуальна (для DO1-DO8),
групова (DO9-DO10),
групова (DO11-DO12)

Електрична міцність ізоляції між групами дискретних виходів

1780 В

та групами інших кіл

Максимальний струм,

який комутований контактами реле, не більше

3 А (для змінної напруги не більше 250 В, частотою 50 Гц та $\cos \varphi > 0,4$ – навантаження для категорії використання АС-15 за ГОСТ р 50030.1-2000)
3 А (для постійної напруги не більше 30 В – навантаження для категорії використання DC-13 за ГОСТ р 50030.1-2000)

Час перемикання контактів реле із стану «лог. 0» у «лог. 1» та назад, не більше

50 мс (виходи DO1-DO12)

Механічний ресурс реле

- не менше 300 000 циклів перемикань при максимальному комутуваному навантаженні;

- не менше 500 000 циклів
перемикання при комутації
навантаження менше половини від
максимального

Аналогові входи

Кількість аналогових входів	8
Тип уніфікованих сигналів, що підтримуються	Струм від 0 (4) 20 мА; Струм від 0 до 5 мА; Напруга від 0 до 10 В;
АЦП	14 біт
Вхідний опір:	
У режимі вимірювання струму	Не більш ніж 170 Ом
У режимі вимірювання напруги	Не менше 200 кОм
Період опитування аналогових входів	10 мс
Межа основної зведеної похибки перетворення	$\pm 0,25\%$
Межа додаткової зведеної похибки перетворення на кожні 10 градусів змінення температури	$\pm 0,05\%$
Гальванічна ізоляція аналогових входів	Групова (8 входів)
Електрична міцність ізоляції між групою аналогових виходів та:	
– колами живлення	1780 В
– групами кіл дискретних виходів	1780 В
– групами інших кіл	560 В

Аналогові виходи

Кількість аналогових виходів	4
Тип вихідного сигналу (залежно від модифікації)	Універсальний, струм від 4 до 20 мА, напруга від 0 до 10 В
Межа основної зведеної похибки	$\pm 0,5\%$
ЦАП	ПЛК160-Х.А – 12 біт ПЛК160-Х.У – 10 біт ПЛК160-Х.И – 10 біт
Розрядність ЦАП	
Мінімальний період оновлення виходів	100 мс
Живлення аналогових виходів	Зовнішнє (24 ± 3 В)
Гальванічна ізоляція аналогових виходів	Індивідуальна
Електрична міцність ізоляції між	

групами аналогових виходів та групами інших кіл	1780 В
Межа допустимої додаткової зведеної похибки аналогових виходів, яка викликана зміненням температури навколишнього повітря від нормальної на кожні 10°C змінення температури	не більше 0,5 межі допустимої основної зведеної похибки аналогових виходів

Інтерфейси зв'язку

RS-485

Кількість	1
Гальванічна розв'язка	Індивідуальна
Електрична міцність ізоляції	1780 В (між інтерфейсом RS-485 та іншими групами кіл)

Ethernet 100 Base-T

Кількість	1
Гальванічна розв'язка	Індивідуальна
Електрична міцність ізоляції	1780 В (між інтерфейсом RS-485 та іншими групами кіл)

RS-232 **

Кількість	1
Гальванічна розв'язка	Відсутня

RS-232-Debug **

Кількість	1
Гальванічна розв'язка	Відсутня

USB-пристрій *

Кількість	1
Гальванічна розв'язка	Відсутня

* – точність вказана без застосування програмної корекції.

** – кола зазначених інтерфейсів не мають між собою гальванічної ізоляції.

Електрична міцність ізоляції між групою зазначених кіл:

- колами живлення –1780 В;
- групами кіл дискретних виходів – 1780 В;
- групами інших кіл –560 В.

Ресурси та додаткове обладнання

Центральний процесор	RISC-процесор на базі ядра ARM-9, 32 розряду, 180МГц
Об'єм оперативної пам'яті (тип пам'яті)	8 Мб (SDRAM), із них 1 Мб для коду користувальницької програми,

Об'єм енергонезалежної пам'яті	128 кб для змінних користувальницької програми 4 Мб (DataFlash), из них 3 Мб доступно для зберігання файлів та архівів
Розмір Retain-пам'яті	не більше 16 кб (за умовчанням встановлено значення 4 кб.)
Час виконання одного циклу програми	– Мінімальний (що не стабілізується) -250 мкс; – встановлений за умовчанням (стабілізований) -1 мс (налаштовується у вікні "Конфігурація ПЛК (PLC Configuration) ПЗ CoDeSys
Додаткове обладнання	– Годинник реального часу з автономним акумуляторним живленням (точність ходу – не більше 3 хв. на добу); – Вбудоване джерело видавання звукового сигналу; – Функціональна кнопка на передній панелі контролера

Додаток Д
Інтерфейси зв'язку та програмування
контролера ОВЕН ПЛК160

Інтерфейс и зв'язку	Протоколи (тип зв'язку та особливості роботи)	Формат передавання даних	Швидкість передавання	Довжин а кабелю, м, не більше	Рекомендовани й тип кабелю
RS-485	Modbus-RTU, ModBus ASCII- DCON, ОВЕН	7 або 8 біт, парність є\немає\не використовуєтьс я, 1 або 2 стоп біти	2400, 4800, 9600, 14400, 19200, 28800, 38400, 57600, 115200 біт/с	1200	КИПЭВ 1×2×0,6 (ТУ 16.К99-008- 2001) або аналогічні
RS-232	Modbus-RTU, ModBus ASCII- DCON, ОВЕН	7 або 8 біт, парність є\немає\не використовуєтьс я, 1 або 2 стоп біти	1200, 2400, 4800, 9600, 14400, 19200 , 28800, 38400 , 57600, 11520 0 біт/с	3	-
RS-232- Debug	ModBus-RTU (тільки slave), ModBus-ASCII, DCON, GateWa у (тільки для Debug RS-232), ОВЕН	тільки 8 немає 1	1200, 2400, 4800, 9600, 14400, 19200, 28800, 38400 , 57600, 115200 біт/с	1,8	-
Ethernet 100 Base-T	ModBus-TCP Gateway TCP- IP, UDP-IP, Codesys Network Variables (over UDP)	-	10, 100 Мбіт/с	100	Категорія 5 тип UTP (звиті пари без екрану), STP або FTP (звиті пари в екрані)
USB- Device	CDC	-	115200 біт/с	1,8	Стандартний із з'єднувачами типу А та В