

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

**В.о. завідувача кафедри
автоматики та робототехнічних систем
ім. акад. І.І. Мартиненка
(назва кафедри)**

К.Т.Н., доц. _____ О.О. Опришко
(підпис) (ПІБ)

" ____ " _____ 2025 р.

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**на тему "КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНА СИСТЕМА
АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ
ПАРАМЕТРАМИ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ"**

Спеціальність: 151 - "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології"

Гарант освітньої програми

Д.Т.Н., професор _____
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис)

Заєць Н.А.
(П.І.Б.)

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи

Д.Т.Н., професор _____
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис)

Шворов С.А.
(П.І.Б.)

Виконав

_____ (підпис)

Гибало А.П.
(П.І.Б.)

КИЇВ – 2025

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

автоматики та робототехнічних систем

ім. акад. І.І. Мартиненка

(назва кафедри)

К.Т.Н., доц. _____ О.О. Опришко
(підпис) (ПІБ)

" ____ " _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи студенту

Гибалу Андрію Петровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність: 151 - "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології"

1. Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи:

"Комп'ютерно-інтегрована система автоматичного керування технологічними параметрами виробництва біогазу",

затверджена наказом ректора НУБіП України від "18" 11 2024 р. № 2056"С"

2. Термін подання завершеної роботи на кафедру "30" травня 2025 р.

3. Вихідні дані до бакалаврської кваліфікаційної роботи:

3.1. Завдання кафедри на виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи.

3.2. Нормативні документи по проектуванню об'єктів автоматизації.

3.3. Наукова література з тематики бакалаврської кваліфікаційної роботи.

4. Перелік питань, які необхідно розробити:

4.1. Аналіз технологічного процесу виробництва біогазу як об'єкта автоматизації.

4.2. Математичне моделювання температурного режиму в біогазовій установці.

4.3. Вибір регулятора та обґрунтування параметрів його налаштувань.

4.4. Розробка цифрової системи керування.

4.5. Схеми системи автоматизації.

4.6. Доцільність можливості використання домогосподарствами індивідуальних БГУ.

5. Перелік графічних документів:

5.1. Функціональна схема автоматизації системи керування температурним режимом у біогазовій установці.

5.2. Система автоматичного керування температурним режимом у біогазовій установці. Фрагмент схеми електричної принципової.

5.3. Система автоматичного керування температурним режимом у біогазовій установці. Фрагмент схеми електричної з'єднань.

5.4. Система автоматичного керування температурним режимом у біогазовій установці. Фрагмент схеми електричної підключень.

5.5. Система автоматичного керування температурним режимом у біогазовій установці. Зовнішній вигляд щита керування.

Дата видачі завдання "19" листопада 2024 року

**Керівник
бакалаврської
кваліфікаційної роботи**

(підпис)

Шворов С.А.
(П.І.Б.)

**Завдання прийняв до
виконання**

(підпис)

Гибало А.П.
(П.І.Б.)

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень і скорочень	5
Вступ	6
РОЗДІЛ 1. Аналіз технологічного процесу виробництва біогазу як об'єкта автоматизації	10
1.1. Стан автоматизації технологічного процесу із зображенням функціональної схеми автоматизації	10
1.2. Інформаційний аналіз технологічного процесу як об'єкта автоматизації з використанням параметричних схем	16
РОЗДІЛ 2. Математичне моделювання температурного режиму в біогазовій установці	20
2.1. Аналіз фізико-хімічних процесів, що протікають в об'єкті автоматизації	20
2.2. Математичний опис теплових процесів в біореакторі	24
2.3. Аналіз динаміки та визначення передаточної функції об'єкта керування	29
РОЗДІЛ 3. Вибір регулятора та обґрунтування параметрів його налаштувань	32
3.1. Функціональна схема автоматизації системи керування температурним режимом виробництва біогазу	32
3.2. Визначення алгоритму керування температурним режимом в БГУ та вибір промислового регулятора	37
3.3. Вибір первинного вимірювального перетворювача	40
3.4. Вибір регулюючого органу та визначення його передатної функції	43
3.5. Вибір виконавчого механізму САК температурним режимом БГУ	47
РОЗДІЛ 4. Розробка цифрової системи керування	51
4.1. Визначення часу квантування сигналів ЦСК	51
4.2. Визначення показників якості роботи цифрової системи керування	53
РОЗДІЛ 5. Схеми системи автоматизації	57
5.1. Розробка схеми електричної принципової системи керування температурним режимом у біогазовій установці	57
5.2. Розробка засобів візуалізації технологічного процесу	63
5.3. Розрахунок і вибір пускозахисної апаратури та з'єднувальних проводів	65
РОЗДІЛ 6. Доцільність можливості використання домогосподарствами індивідуальних БГУ	69
Висновки	79
Література	80
Додатки	83

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

- АПК – агропромисловий комплекс
- БГУ – біогазова установка
- ЛЖК – леткі жирні кислоти
- НСХ – номінальна статична характеристика
- САК – система автоматичного керування
- с.м. – суха маса
- с.о.р. – суха органічна речовина
- ПДЕ – поновлювані джерела енергії
- у.п. – умовне паливо
- ЦСК – цифрова система керування

ВСТУП

Актуальність теми. Розвиток енергозберігаючих технологій, скорочення споживання природного газу є найбільш актуальними задачами сьогодення України. Енергетична безпека країни істотно залежить від ступеня диверсифікованості енергоносіїв, які використовуються для задоволення її енергетичних потреб. Проблеми, що виникли в Україні із газопостачанням, знову продемонстрували нагальну необхідність пошуку і впровадження відновлюваних і альтернативних джерел енергії та енергоощадних технологій. Найбільш перспективним для заміщення природного газу та інших викопних палив у нашій країні серед інших відновлюваних джерел енергії є використання біомаси.

Біомаса – це вуглецевомісткі органічні речовини рослинного і тваринного походження (рослинні залишки сільськогосподарського виробництва, солома, деревина, гній, органічна частина твердих побутових відходів, іноді торф). Для виробництва енергії переважно застосовують тверду біомасу, а також отримані з неї газоподібні та рідкі палива – *біогаз, біодизель, біоетанол*. Оскільки біомаса є CO₂-нейтральним паливом, її використання не підсилює глобальний парниковий ефект на планеті. Отже, біомаса є екологічно чистим, відновлюваним паливом (за умови екологічно раціонального виробництва і подальшого використання).

У сучасному світовому виробництві серед інших видів палива біомаса за значимістю посідає 4 місце і забезпечує понад 2 млрд. тон у.п. на рік, або 14% загального споживання первинних енергоносіїв у світі (у країнах, що розвиваються – понад 30%) [3].

Виробництво енергії з відновлюваних джерел, включаючи біомасу, динамічно розвивається у більшості Європейських країн. На сьогодні *поновлювані джерела енергії* (ПДЕ) покривають понад 10% енергоспоживання країн ЄС, у т.ч. біомаса – 6-7%, (більше половини). В окремих країнах частка

біомаси у загальному споживанні первинних енергоносіїв суттєво перевищує середньоєвропейську і складає: у Фінляндії, яка є світовим лідером серед розвинених країн – 23%, у Швеції – 19%, у Данії – 14%, в Австрії – 12% [29].

Україна має значний потенціал доступної для енергетичного використання біомаси. Економічно доцільний потенціал біомаси оцінюється у понад 28 млн. т у.п. на рік [7]. Основними складовими потенціалу є відходи сільськогосподарського виробництва, а також енергетичні культури. Використання цього потенціалу до виробництва енергії здатне задовольнити близько 13-15% потреби України у первинній енергії за теперішніх умов. Розвиток біоенергетичного сектора нашої країни повинен проходити обґрунтовано і послідовно і має враховувати можливий вплив на навколишнє середовище і національну економіку.

Використання біогазу є одним із шляхів часткової заміни традиційних видів палива у сільській місцевості. Крім того, технології переробки органічних відходів на біогаз дозволяють одночасно вирішувати такі 4 проблеми: енергетичну (отримання енергії та різних видів палива), екологічну (ліквідацію відходів агропромислового виробництва), агрохімічну (отримання екологічно чистих добрив, і, як наслідок, продуктів, із одночасним підвищенням родючості ґрунту), соціальну (покращення побутових і виробничих умов для населення).

Для виробництва біогазу придатними є різноманітні відходи сільськогосподарського виробництва: відходи рослинного і тваринного походження, гній, побутові відходи. В агропромислових і побутових відходах за певних умов відбуваються біохімічні процеси, у результаті яких з відходів отримують не тільки біогаз, але й ще один цінний продукт – концентровані органічні добрива для використання у сучасних технологіях вирощування агрокультур.

Останнім часом біогазові установки набувають все більшого розповсюдження у країнах із високим рівнем промислового розвитку, особливо у країнах ЄС, де приблизно 75% їх припадає на невеликі установки

(об'єм реактора складає 100...300 м³), сировиною для роботи яких є відходи тваринництва. Широкий інтерес до створення *біогазових установок* (БГУ) за кордоном у значній мірі зумовлений дієвим екологічним законодавством, державними дотаціями на впровадження ПДЕ, введенням світових квот на метанове забруднення довкілля. Необхідність зменшення шкідливих викидів у навколишнє середовище, а також доцільність автономного енергозабезпечення ферм із власного джерела енергії перетворюють БГУ на обов'язковий елемент сучасного тваринницького комплексу.

Інколи вважається, що головним призначенням БГУ є отримання біогазу як джерела додаткового місцевого енергопостачання. Оцінюючи з такої точки зору економічну ефективність переробки біомаси необхідно враховувати, що БГУ є альтернативним обладнанням для утилізації і переробки гною і відходів. Тому витрати на їх створення і експлуатацію необхідно віднести до заходів зі знезараження гною, виробництва високоякісних добрив і захисту довкілля. В цьому випадку БГУ завжди будуть мати позитивний економічний ефект. Розрахунки показують, що, незважаючи на великі капітальні вкладення, строк окупності промислової БГУ складає близько 3 років [18,22].

Технічних варіантів реалізації метаногенезу біомаси є дуже багато, починаючи з конструктивно простих установок і закінчуючи технологічно досконалими установками довгочасної безперервної дії. Ефективне використання таких установок вимагає ретельного дотримання технологічних режимів і регламентів, що стає можливим із використанням сучасних технічних засобів автоматизації у складі систем автоматичного керування процесом виробництва біогазу.

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

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

Метою кваліфікаційної бакалаврської роботи є розробка системи автоматичного керування температурним режимом у біогазовій установці, яка забезпечить підвищення ефективності виробництва біогазу.

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. Розробити функціональну схему автоматизації системи керування температурою в БГУ.

4. Обґрунтувати вибір комплексу технічних засобів автоматизації для реалізації системи керування та розрахувати показники якості її роботи, розробити систему автоматизації із операторським інтерфейсом SCADA-системи контролю та керування параметрами технологічного процесу виробництва біогазу.

5. Визначити економічну ефективність впровадження системи керування біогазовим реактором.

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 теплопостачання 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 перекивання 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).

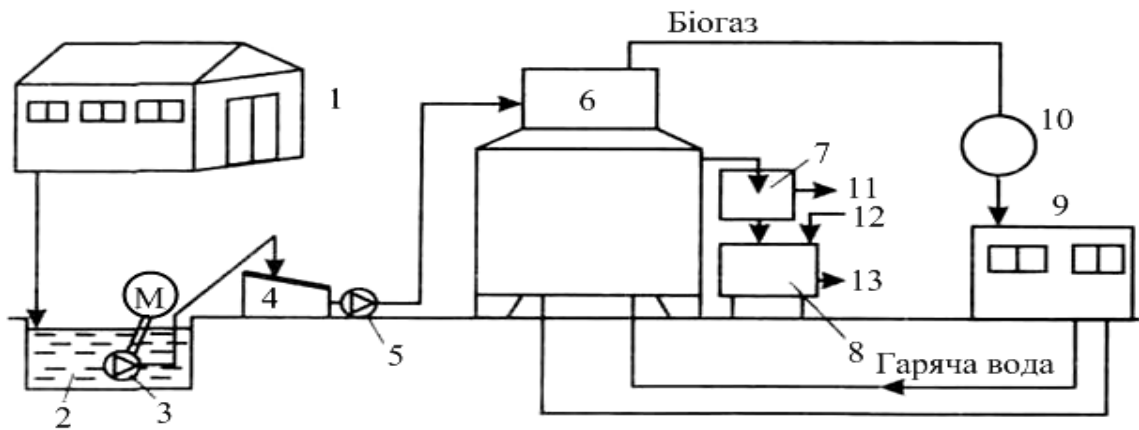


Рис. 1.1. Технологічна схема типової біогазової установки:

1 - ферма; 2 - збірник; 3 - заглиблена помпа; 4 - відокремлювач грубих включень та змішувач субстрату; 5 - помпа - дозатор; 6 - метантенк; 7 - гідро затвор; 8 - концентратор - змішувач; 9 - блок - контейнер; 10 - газгольдер; 11 - рідкі добрива; 12 - сорбенти; 13 - тверді добрива.

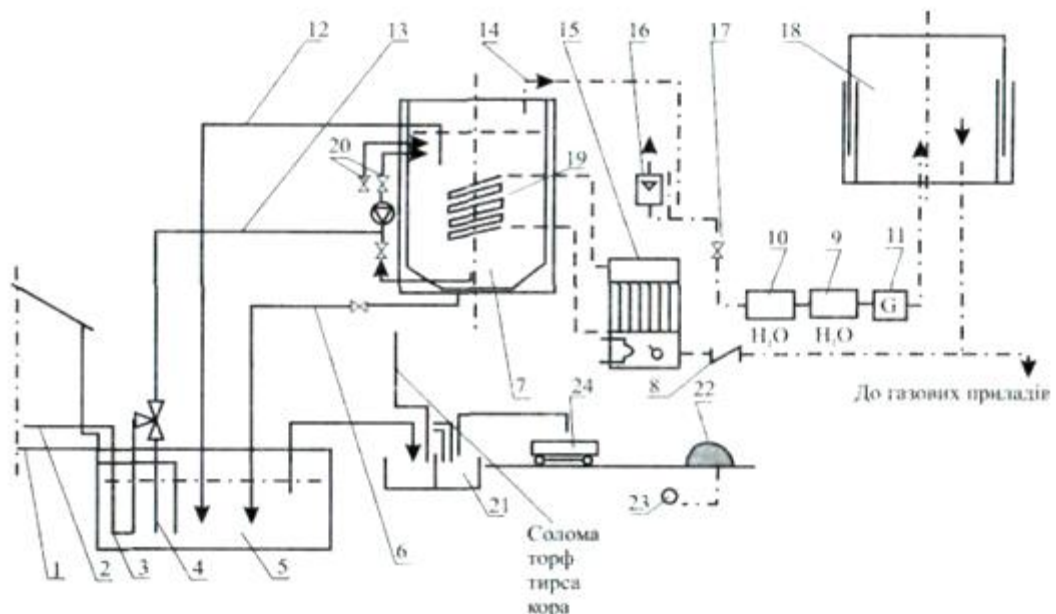


Рис. 1.2. Схема біогазової установки з компостуванням:

1 - ферма; 2 - трубопровід для гнізда корівників; 3 - попередній резервуар; 4 - трубопровід подачі; 5 - резервуар для оброблених німф; 6 - дренажний трубопровід; 7 - ферментаційна камера; 8 - вимикач полум'я; 9 - десульфуранти; 10 - дегідратор; 11 - газовий лічильник; 12 - верхня частина маси; 13-трубопровід; 14 - трубопровід газу; 15 - водогрійний котел; 16 - запобіжник; 17 - вимикач полум'я; 18 - газовий резервуар; 19 - обігрівач; 20 - змішувальні трубопроводи; 21 - осередки для гною; 22 - компостній платформа; 23 - вентилятор; 24 - трактор з навантажувачем + розкидач гною.

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 культивуванні 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, жиrowі 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.

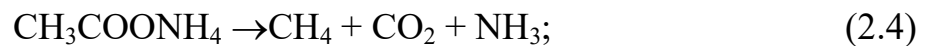
- утворення кислоти – цукор біохімічно перетворюється на жирову кислоту:



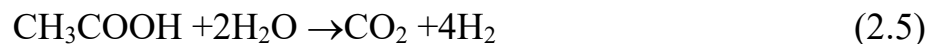
- утворення солі – жирова кислота реагує з основними компонентами з утворенням солі жирової кислоти:



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.

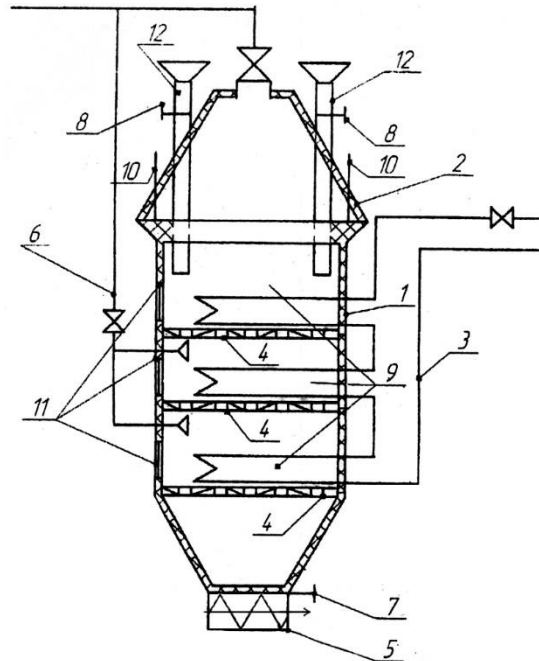


Рис. 2.1. Біогазовий реактор з безперервним циклом бродіння:

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:

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

За допомогою блоків Constant введемо необхідні дані для вирішення системи рівнянь (3.20), значення параметрів M_c , M_t , G_t , G_c , C_c , C_t , K_t , K_k , t_1 , θ_1 , $t_3(t_{zc})$. 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 $t_1=90^\circ\text{C}$ – початкова температура теплоносія і $\theta_1=15$ – 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.

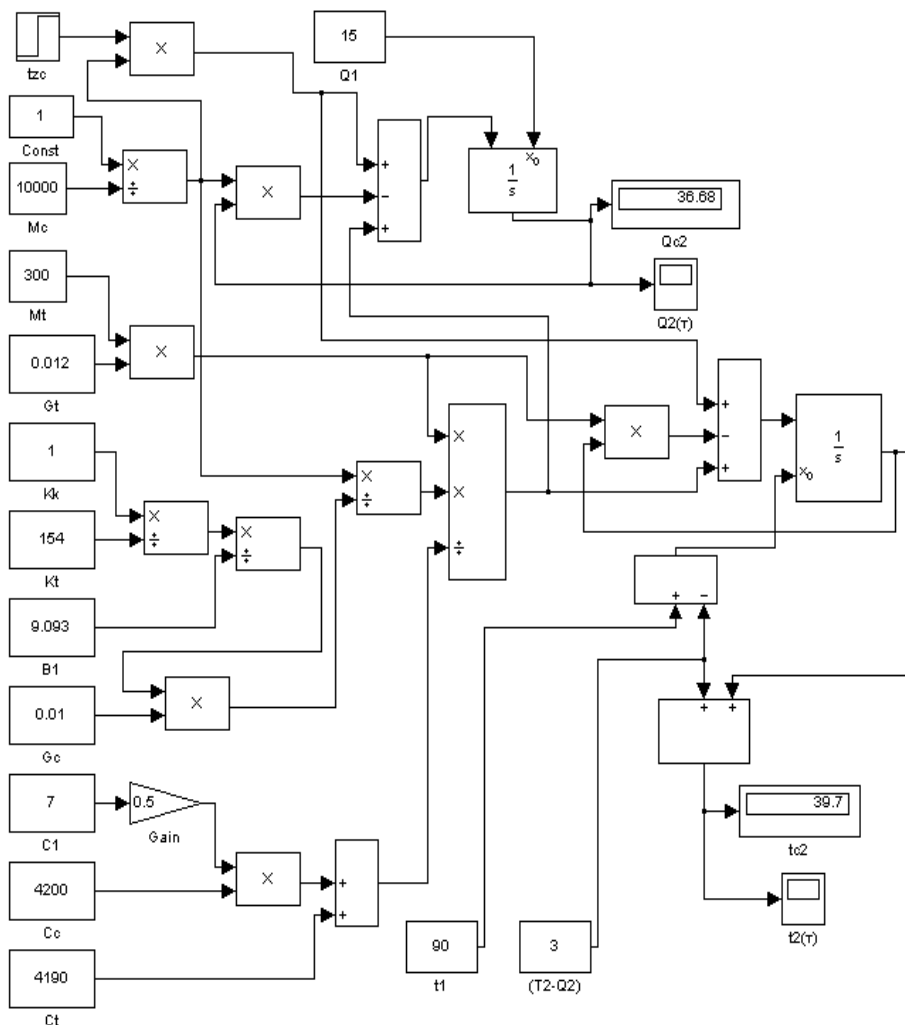


Рис. 2.2. Схема моделі нагрівання субстрату(θ) при охолодженні теплоносія(t) в блоках SimulinkMATLAB

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).

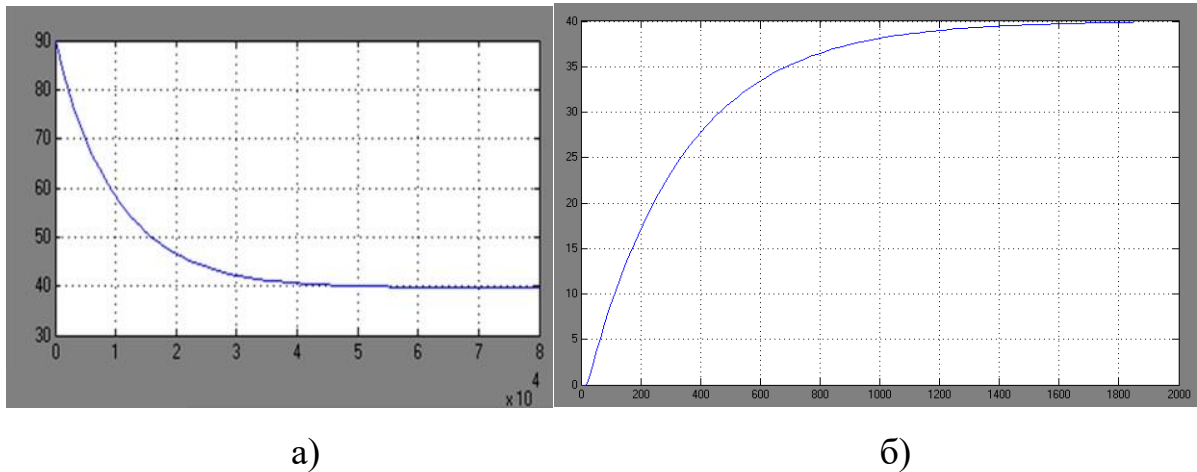


Рис. 2.3. Розгінні характеристики в часі температури теплоносія (а) і субстрату (б)

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:

$$W(s) = \frac{K_0}{T_0s + 1} e^{-s\tau_0}$$

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

$$W_{ov}(s) = \frac{0.2}{320*s + 1} e^{-s*20}$$

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

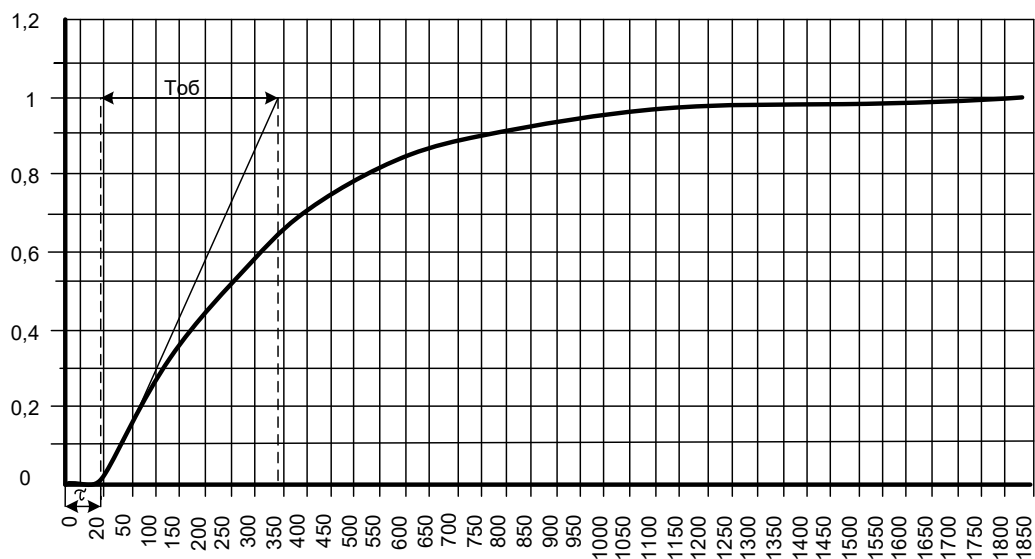


Рис. 2.4. Розгінна нормована характеристика об'єкта керування

РОЗДІЛ 3

ВИБІР РЕГУЛЯТОРА ТА ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЙОГО НАЛАШТУВАНЬ

3.1. Функціональна схема автоматизації системи керування процесом 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 метантенку 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).

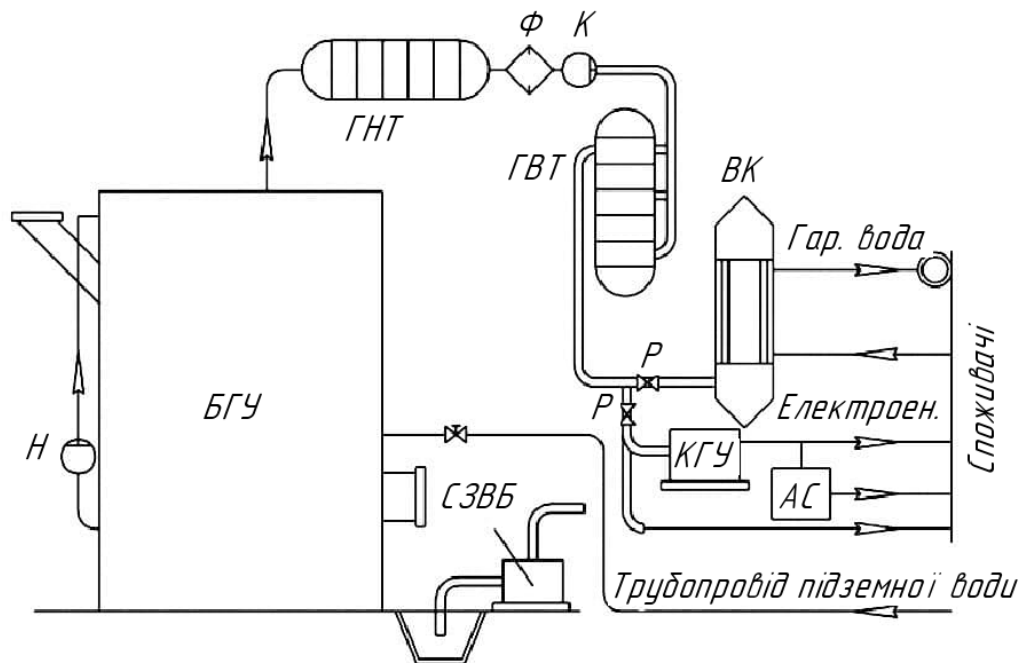


Рис. 3.1. Схема установки когенерації зі системою накопичення енергії:

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 – акумулююча 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):

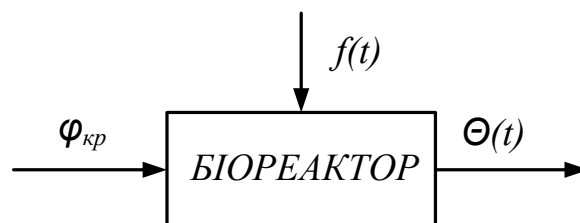


Рис. 3.2. Інформаційна схема біореактора

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

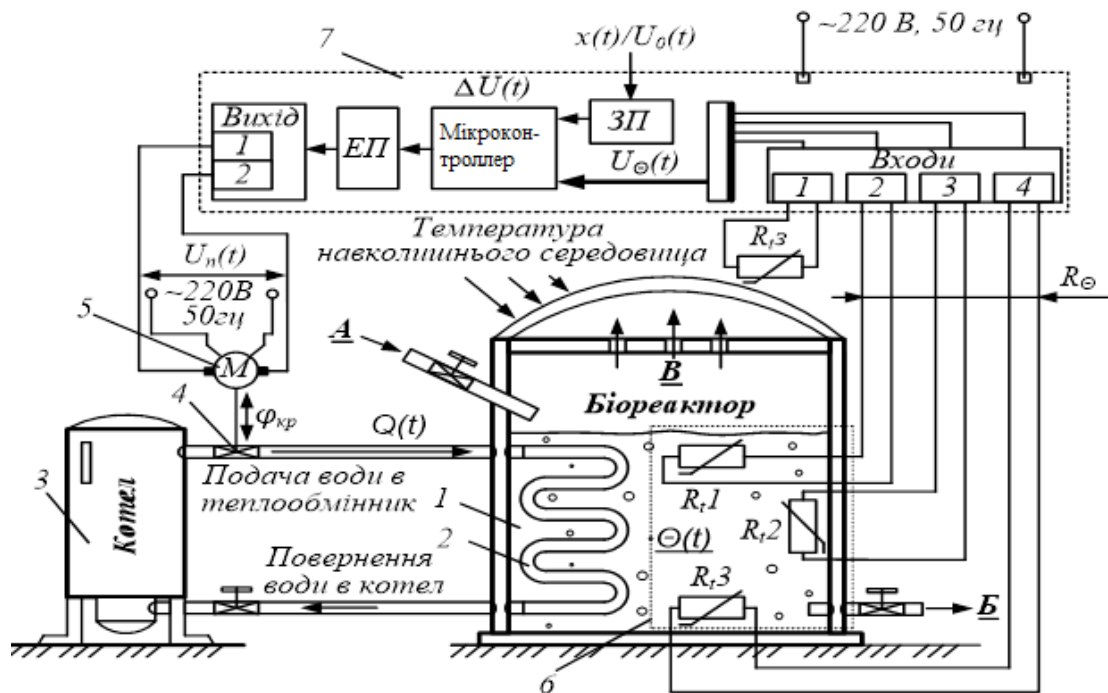


Рис. 3.3. Функціональна схема автоматизації керування температурою субстрату в модульній установці біогазу:

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.

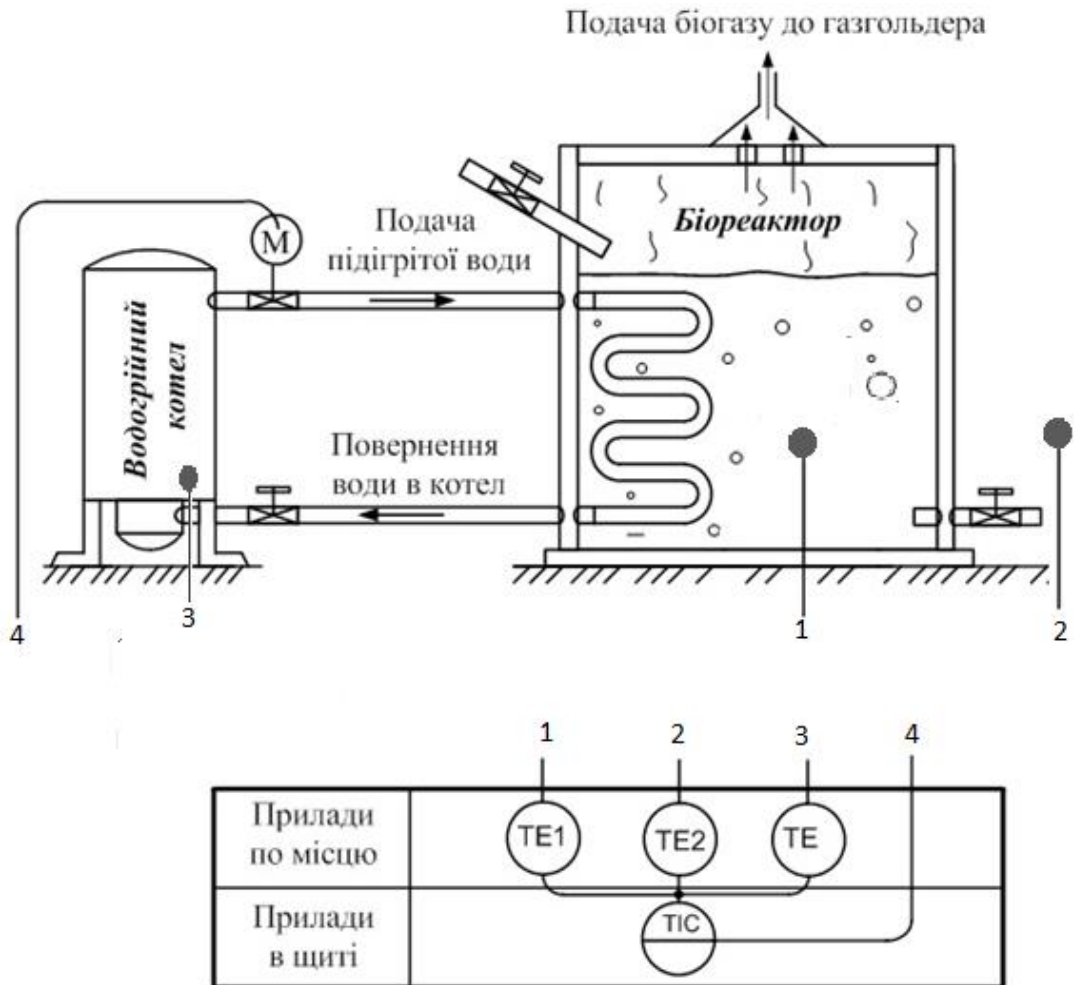


Рис. 3.4. Функціональна схема автоматизації системи керування температурним режимом виробництва біогазу

3.2. Визначення алгоритму керування температурним режимом в БГУ та вибір промислового регулятора

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 [13] орієнтуватися на величину відношення запізнення до постійної часу об'єкта $\frac{\tau_{ov}}{T_{ov}}$.

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

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

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

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

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

екстраполятором, який компенсує запізнювання в контурі керування.

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

За вказаними умовами рекомендованим є позиційний алгоритм керування, але за технологічними вимогами виробництва біогазу (див. п. 1.2), коли необхідно виключити з виробничого процесу температурні коливання субстрату, які можуть виникнути при позиційному регулюванні, необхідно використати неперервний алгоритм керування.

Відомо, що перехідний процес в 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:

$$R_d = \frac{y_1}{k_{об} \cdot y_3}, \quad (3.1)$$

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

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

y_1 – максимальне динамічне відхилення.

Підставивши відповідні значення, отримали:

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

За графічними залежностями [13], визначаємо закон керування – це ПІ-закон керування з типовим перехідним процесом з 20%-ним перерегулюванням.

Для технічної реалізації системи автоматичного керування температурним режимом у біореакторі БГУ вибираємо програмований логічний контролер **ОВЕН ПЛК160** (рис. 3.5).

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



Рис. 3.5. Програмований логічний контролер ОВЕН ПЛК160

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), ОВЕН, DCON;
- можливість роботи безпосередньо з портами контролера, що дозволяє приєднувати 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 перечікування зникнення живлення, переведення вихідних елементів у безпечний стан).

Технічні характеристики програмно-логічного контролера ОВЕН ПЛК160 наведені в додатку Б, В.

3.3. Вибір первинного вимірювального перетворювача

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

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

При обґрунтуванні вибору датчика температури для регулятора температури в біореакторі БГУ необхідно в першу чергу звернути увагу на те, який діапазон зміни температури відповідно до технічних умов повинна забезпечити проектована система керування.

Для того, щоб перетворювач в процесі стабілізації температури при виробництві біогазу до заданого рівня не вносив неприпустиму динамічну похибку вимірювання, його постійна часу T_{CE} повинна бути на порядок меншою від постійної часу об'єкта управління T_{OY} .

Передатна функція біогазової установки

$$W_{OY}(s) = \frac{0,25 \cdot e^{-20s}}{320 \cdot s + 1}.$$

Постійна часу об'єкта управління T_{OY} при цьому складає 320 с.

Як було зазначено, діапазон вимірювання температури субстрату бродіння у біореакторі для термофільного режиму за технологічними нормами складає $T = 45 \dots 55^\circ\text{C}$; $T_{\text{опт}} = 48 \dots 51^\circ\text{C}$.

Враховуючи зазначені вище умови, використаємо датчик температури – термометр опору ТСМУ-2212-50М (ТУ 50-98 ДДШ0.282.007ТУ) (рис. 3.6), технічні характеристики якого наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1.

Характеристика термометра опору ТСМУ-2212

Тип	Номінальна статична характеристика	Діапазон вимірювання, $^\circ\text{C}$	Показник теплової інерції
ТСМУ-2212	50М	-50...+150	15 с

Матеріал захисної арматури – сталь 12Х18Н10Т.

Матеріал корпусу – фенопласт ВХ5-010-73.

Габаритні розміри – 48х40х200 мм.

Середнє напрацювання на відмову – 200000 годин.



Рис. 3.6. Термоперетворювач опору з уніфікованим вихідним сигналом ТСМУ-2212

Термоперетворювачі з уніфікованим вихідним сигналом типу ТСМУ призначені для неперервного перетворювання температури середовища (газів, пари, рідин та сипких середовищ) у пропорційний струмовий сигнал 0-5 або 4-20 мА дистанційної передачі. Датчик складається із вбудованого в головку вимірювального перетворювача із вихідним сигналом 0-5 або 4-20

мА та термозонду. Вимірюваний параметр – температура – лінійно перетворюється термочутливим елементом у пропорційну зміну омичного опору, який, в свою чергу, перетворюється вимірювальним перетворювачем у струмовий вихідний сигнал.

Отже, $15/230 = 0,065 < (0,2...0,3)$, тому за швидкодією датчик підходить для даного об'єкта.

Передатна функція термометра опору є інерційною ланкою

$$W_{CE}(s) = \frac{k_{CE}}{T_{CE} \cdot s + 1}.$$

Передатний коефіцієнт k_{CE} визначається за виразом $k_{CE} = \frac{dR_t}{d\theta}$.

Оскільки $R_t = R_o \cdot (1 + \alpha \cdot \theta)$, то $k_{CE} = \frac{dR_t}{d\theta} = R_o \cdot \alpha$, де R_o – номінальний опір датчика температури при 0°C . Оскільки цей вимірювальний перетворювач має номінальну статичну характеристику 50М (рис. 3.7), то для нього $R_o = 50 \text{ Ом}$; α – температурний коефіцієнт опору.

Для мідних термометрів опору він становить $4,26 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}/^\circ\text{C}$.

Тоді $k_{CE} = 50 \cdot 4,26 \cdot 10^{-3} = 0,213 \text{ Ом}/^\circ\text{C}$, і передатна функція сприймаючого елемента $W_{CE}(s) = \frac{0,213}{15 \cdot s + 1}$.

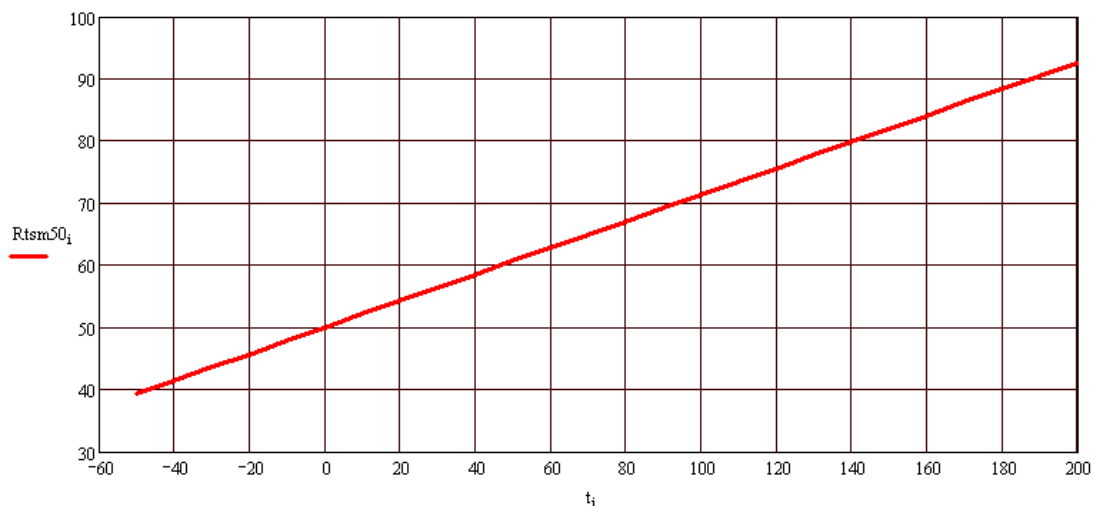


Рис. 3.7. Статична характеристика мідного термоопору із НСХ 50М (значення опору при $t = 0^\circ\text{C}$ дорівнює $R_o = 50 \text{ Ом}$)

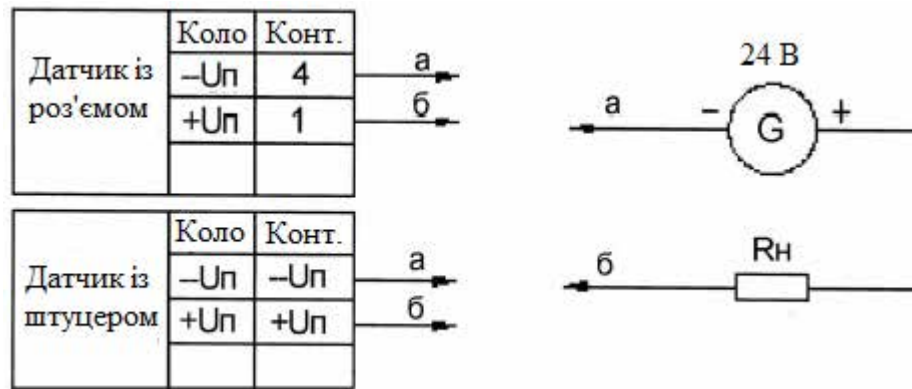


Рис. 3.8. Схема зовнішніх з'єднань датчиків типу ТСМУ із вихідним сигналом 4-20 мА

3.4. Вибір регулюючого органу та визначення його передатної функції

Змішувальний вузол (рис. 3.9), до складу якого входять виконавчий механізм і регулюючий орган, призначений для регулювання витрати теплоносія в системі нагріву субстрату БГУ.

На рис. 3.6 прийняті наступні позначення: 1 – приєднувальні труби; 2 – циркуляційний насос; 3 – трьохходовий регулюючий клапан (регулюючий орган САК); 4 – сервопривод, що керує трьохходовим клапаном (виконавчий механізм САК); 5 – фільтр; 6 – балансувальний вентиль для встановлення опору байпаса; 7 – зворотний клапан; 8 – сервісні запірні вентилі.

Вихідними даними для вибору регулюючого органу (РО) є:

$\gamma = 1 \text{ г/см}^3$ – об'ємна маса води;

$\nu = 0,2$ – в'язкість води;

$Q_{\max} = 100 \text{ м}^3/\text{год.}$, $Q_{\min} = 20 \text{ м}^3/\text{год.}$ – максимальна та мінімальна об'ємна витрати гарячої води, призначеної для нагріву субстрату в біореакторі;

$P_1 = 15 \text{ кг/см}^2$ – абсолютний тиск в системі постачання гарячої води до РО;

$\Delta P_c = 10 \text{ кг/см}^2$ – перепад тиску в системі;

$\Delta P_{Л\max} = 4 \text{ кг/см}^2$ – максимальний перепад тиску в лінії.

Під час вибору регулюючих органів є певна послідовність розрахунків:

1. Обчислюють максимальну пропускну здатність регулюючого органу та його умовний діаметр.
2. Визначають робочий відрізок витратної характеристики.
3. Знаходять теоретичну витратну характеристику (для клапанів).
4. Визначають для рідини робочу ділянку кривої зміни перепаду тиску (для газу та пари знаходять максимальний та мінімальний перепади тиску).

Обчислюємо максимальну пропускну здатність РО:

$$K_{\gamma\max} = Q_{\max} \cdot \sqrt{\frac{\gamma}{\Delta P_{\min}}} = Q_{\max} \cdot \sqrt{\frac{\gamma}{\Delta P_c - \Delta P_{Л\max}}} = 100 \cdot \sqrt{\frac{1}{10 - 4}} = 41 \text{ м}^3/\text{Год.} \quad (3.2)$$

Регулювальний орган вибирають за умови, що

$$K_{\gamma} \succ 1,2 \cdot K_{\gamma\max}. \quad (3.3)$$

Тоді $K_{\gamma} \geq 1,2 \cdot K_{\gamma\max} = 1,2 \cdot 41 = 49,2 \text{ м}^3/\text{Год.}$

Для контуру керування температурним режимом БГУ згідно функціональною схемою автоматизації використовується трьохходовий регулюючий клапан.

За довідниковими даними [13] вибираємо *трьохходовий регулювальний клапан* (рис. 3.7) з умовним діаметром $D_y = 50\text{мм}$ і пропускну здатністю $K_{\gamma\text{РО}} = 50 \text{ м}^3/\text{Год.}$

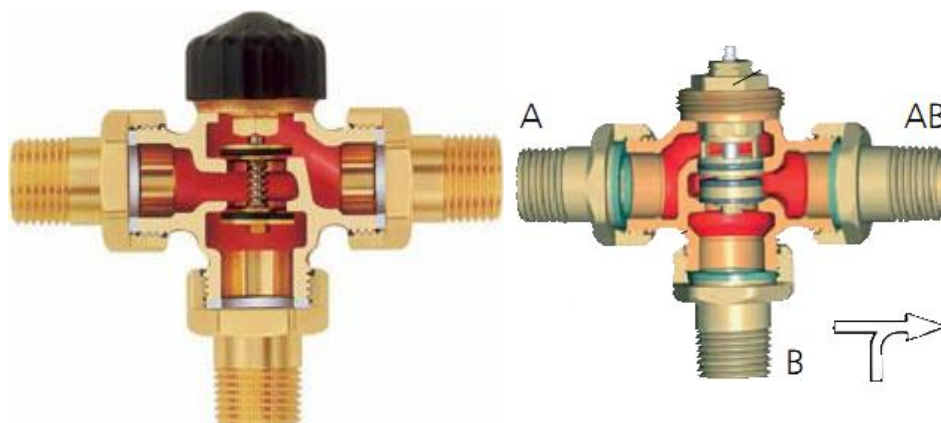


Рис. 3.9. Зовнішній вигляд трьохходового клапану

У трубопроводах трьохходовий клапан встановлюється таким чином, що він не здійснює зміну потоку води – її тиск завжди залишається постійним, змінюється лише співвідношення проходження гарячої та відпрацьованої води. Трьохходовий клапан має досить просту конструкцію: він являє собою корпус, що має два вхідних і один вихідний отвір.

В якості регулюючого елемента в клапані, зазвичай, застосовується або шток спеціальної конструкції, який може рухатися у вертикальному напрямку, або куля, яка може повертатися навколо осі. При цьому регулюючий елемент не здійснює повне перекриття клапана, а перерозподіляє потоки рідин, тим самим виробляючи їх змішування.

Поправки на в'язкість не вводимо, оскільки індекс в'язкості:

$$z = 420 \cdot \frac{Q_{\max}}{v \cdot \sqrt{K_{\gamma \max}}} = 420 \cdot \frac{100}{0,2 \cdot \sqrt{41}} = 32813 > 1000. \quad (3.4)$$

Таблиця 3.2.

Формули для розрахунку пропускної здатності [13]

Вид гідравлічного опору	Перепад тиску	Витрата		
		рідини Q, м ³ /год.	газу G, кг/год.	пари G, кг/год.
ВП	$\Delta P < P_1/2$	$K_{\gamma} = Q \cdot \sqrt{\frac{\gamma}{\Delta P}}$	$K_{\gamma} = \frac{G}{514} \cdot \sqrt{\frac{T_1}{\Delta P \cdot P_2 \cdot \gamma_n}}$	$K_{\gamma} = \frac{G}{31,6} \cdot \sqrt{\frac{V_2}{\Delta P}}$
	$\Delta P \geq P_1/2$		$K_{\gamma} = \frac{G}{257 \cdot P_1} \cdot \sqrt{\frac{T_1}{\gamma_n}}$	$K_{\gamma} = \frac{G}{22,4} \cdot \sqrt{\frac{V}{\Delta P}}$
Лінія	$\Delta P_{\text{л}} < P_2/2$	$K_{\gamma \text{л}} = Q \cdot \sqrt{\frac{\gamma}{\Delta P_{\text{л}}}}$	$K_{\gamma \text{л}} = \frac{G}{514} \cdot \sqrt{\frac{T_2}{\Delta P_{\text{л}} \cdot P_3 \cdot \gamma_n}}$	$K_{\gamma \text{л}} = \frac{G}{31,6} \cdot \sqrt{\frac{V_3}{\Delta P_{\text{л}}}}$
	$\Delta P_{\text{л}} \geq P_2/2$		$K_{\gamma} = \frac{G}{257 \cdot P_2} \cdot \sqrt{\frac{T_2}{\gamma_n}}$	$K_{\gamma \text{л}} = \frac{G}{2,4} \cdot \sqrt{\frac{V_1}{P_2}}$

Знаходимо робочу ділянку витратної характеристики вибраного регулюючого органу. Для цього скористуємось виразом з таблиці 3.2:

$$K_{\gamma_L} = Q_{\max} \sqrt{\frac{\gamma}{\Delta P_{L \max}}} = 100 \cdot \sqrt{\frac{1}{4}} = 50 \text{ м}^3/\text{год}. \quad (3.5)$$

Визначаємо відношення перепаду тиску на РО при максимальній витраті до перепаду тиску в лінії:

$$n = \frac{K_{\gamma_{PO}}}{K_{\gamma_L}} = \frac{50}{50} = 1. \quad (3.6)$$

Уточнюємо перепад тиску на виконавчому пристрої:

$$\Delta P_{ВП} = \frac{\Delta P_C}{1+n^2} = \frac{10}{1+1^2} = 5 \text{ кгс/см}^2. \quad (3.7)$$

Визначаємо витрату рідини через виконавчий пристрій в разі перепаду тиску на ньому:

$$Q_{ВП} = K_{\gamma_{PO}} \sqrt{\frac{\Delta P_{ВП}}{\gamma}} = 50 \cdot \sqrt{\frac{5}{1}} = 112 \text{ м}^3/\text{год}. \quad (3.8)$$

Знаходимо відносну максимальну та мінімальну витрату рідини:

$$\mu_{\max} = \frac{Q_{\max}}{Q_{ВП}} = \frac{100}{112} = 0,89; \quad \mu_{\min} = \frac{Q_{\min}}{Q_{ВП}} = \frac{20}{158} = 0,18. \quad (3.9)$$

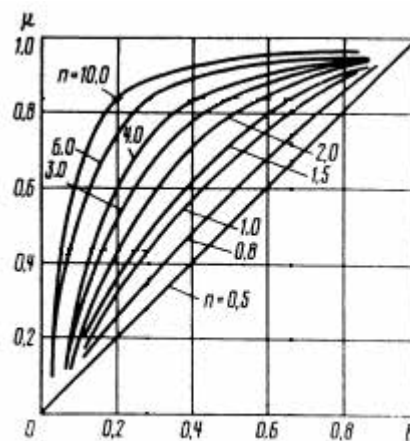


Рис. 3.10. Робочі витратні характеристики для регулювальних клапанів

За графіком (рис. 3.10) вибираємо витратну характеристику ВМ, згідно якої відносний хід затвора регулювального органа (плунжера):

$$l_{\min}=0,12; l_{\max}=0,8.$$

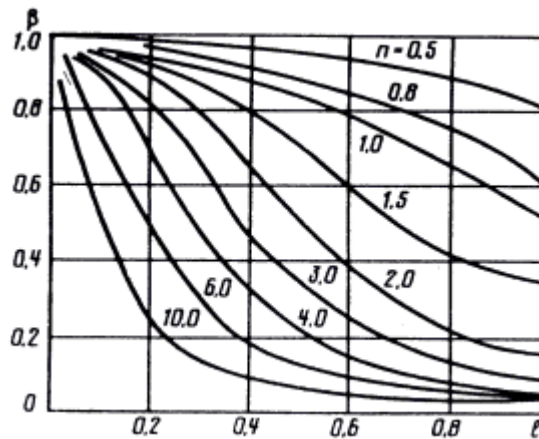


Рис. 3.11. Зміни перепадів тисків на ВМ для регулювальних клапанів

При цьому відношення перепаду тиску на РО до перепаду тиску в системі змінюється від $\beta_{\max}=0,95$ до $\beta_{\min}=0,68$ (рис. 3.11), що відповідає наступним перепадам:

$$\beta_{\max} = \frac{\Delta P_{\max}}{\Delta P_c}; \beta_{\min} = \frac{\Delta P_{\min}}{\Delta P_c}. \quad (3.10)$$

Потім розраховуємо значення:

$$\Delta P_{\max} = \beta_{\max} \cdot \Delta P_c = 0,95 \cdot 10 = 9,5 \text{ кг/см}^2; \quad (3.11)$$

$$\Delta P_{\min} = \beta_{\min} \cdot \Delta P_c = 0,68 \cdot 10 = 6,8 \text{ кг/см}^2. \quad (3.12)$$

Таким чином, після розрахунку необхідного регулюючого органу, отримуємо дані для вибору виконавчого механізму.

3.5. Вибір виконавчого механізму САК температурним режимом БГУ

Виконавчим механізмом (ВМ) називається пристрій автоматики, який діє безпосередньо або через погоджуючі елементи на регулюючий орган об'єкта управління. ВМ, як частина системи автоматичного управління, призначений для відпрацювання управляючого сигналу, який формується

управляючими елементами автоматики таким чином, щоб відхилення регулюючої величини від заданого значення становило якнайменше значення. Виконавчі механізми, які з'єднані безпосередньо з регулюючими органами, переміщують їх відповідно до сигналу, що надходить від пристрою, який формує закон регулювання.

До ВМ пред'являють ряд вимог:

- здатність розвивати необхідне переставне зусилля або момент, достатні для перестановки регулюючого органу об'єкта,
- забезпечити перестановку регулюючого органу на потрібну величину,
- забезпечити потрібну швидкість і прискорення переміщення регулюючого органу,
- мати високі техніко-економічні показники (надійність, ціна та ін.).

ВМ обираються залежно від величини обертального моменту необхідного для переміщення регулюючого органу [13]:

$$M_z = k \cdot (M_p + M_m), \quad (3.13)$$

де M_p – реактивний момент:

$$M_p = 0.07 \cdot \Delta P_{\max} \cdot D_y^3 = 0.07 \cdot 9.5 \cdot 10^4 \cdot (50 \cdot 10^{-3})^3 \approx 0.83 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_m = 0.785 \cdot \Delta P_{\max} \cdot D_y^2 \cdot r_m \cdot \lambda = 0.785 \cdot 9.5 \cdot 10^4 \cdot (50 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 1 \cdot 10^{-2} \cdot 0.15 \approx 0.28 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_z = 2 \cdot (0.83 + 0.28) = 2.22 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Момент обертання валу обраного виконавчого механізму повинен бути більшим за момент, необхідний для обертання заслінки: $M_H > M_z$.

В якості електроприводу, яким комплектується трьохходовий клапан, виступає сервопривод, побудований на електродвигуні невеликої потужності і системі передач.

Для приводу клапана обраний сервопривод BELIMO LM230ASR-TP (рис. 3.12), що за технічними характеристиками задовольняє наведеним вище умовам.



Рис. 3.12. Виконавчий механізм BELIMO LM230ASR-TP

Передатна функція виконавчого механізму (сервоприводу) є інтегруючою ланкою

$$W_{BM}(s) = \frac{k_{BM}}{s}, \quad (3.14)$$

де k_{BM} - коефіцієнт передачі виконавчого механізму, град./с.

Таблиця 3.3.

Технічні характеристики сервоприводу BELIMO LM230ASR-TP

Тип	Максимальний момент навантаження, Н·м	Час повного ходу, сек/90°	Температура навколишнього середовища, °С	Ступінь захисту	Маса, кг
LM230	10	58	0...+60	IP65	3,5

Напруга живлення 220 В, 50 Гц.

Механічне приєднання – фланцеве згідно з ISO 5211.

$$k_{BM} = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}, \quad (3.15)$$

Δt - проміжок часу, с;

$\Delta\varphi_{OB}$ - кут повороту вихідного валу за проміжок часу Δt , град.

$$k_{BM} = \frac{90}{58} = 1,56 \frac{\text{град}}{\text{сек}}.$$

$$W_{BM}(s) = \frac{1,56}{s}.$$

Оскільки за конструктивним виконанням у сервоприводі реалізований зворотний зв'язок за положенням (реостатний датчик положення), то остаточною передатною функцією виконавчого механізму визначається як

$$W_{BM}(s) = \frac{W_{CEEP}(s)}{1 + W_{CEEP}(s)} = \frac{\frac{1,56}{s}}{1 + \frac{1,56}{s}} = \frac{1,56}{s + 1,56} = \frac{1}{\frac{1}{1,56} \cdot s + 1} = \frac{1}{0,64 \cdot s + 1}.$$

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА ЦИФРОВОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

Цифрові системи керування – це системи, в яких безперервні сигнали перетворюються в цифрові коди і керування здійснюється з використанням алгоритмів обробки цифрової інформації.

Цифрові системи керування передбачають перетворення безперервних сигналів у цифрові коди та зворотне перетворення цифрових кодів у безперервні сигнали. Такі перетворення здійснюють аналогово-цифрові (АЦП) і цифро-аналогові (ЦАП) перетворювачі. У таких перетворювачах здійснюється квантування як за часом так і за рівнем.

4.1. Визначення часу квантування сигналів ЦСК

Дискретизація (квантування) – заміна неперервного сигналу тими чи іншими дискретними значеннями.

Види дискретизації:

- за часом
- за рівнем
- одночасна дискретизація за рівнем і за часом

Задача вибору раціонального часу квантування T_k є однією з основних проблем реалізації ЦСК. При зменшенні часу керування точність керування цифровою системою збільшується, але при цьому зростає завантаження мікроЕОМ масивами інформації. При збільшенні часу квантування втрачається важлива інформація про сигнал, що може призвести до неможливості відтворення вихідного сигналу за дискретними

вибірками. Тому виникає проблема пошуку раціонального часу квантування T_k , який задовольнив би такі суперечливі вимоги.

Згідно з теоремою Котельникова, для можливості безпомилкового відтворення сигналу, як показує аналіз амплітудних спектрів імпульсної системи, найменша частота квантування повинна дорівнювати $2\omega_c$, де ω_c – найвища частота вихідного сигналу, яка має місце в амплітудно-частотній характеристиці неперервної частини системи.

Теорема стверджує: якщо сигнал не містить в собі частот вище, ніж ω_c рад/с, він повністю описується своїми значеннями, вимірними у дискретні моменти часу за інтервалом $T_k = \pi / \omega_c$.

У подальших розрахунках нехтуємо передатною функцією виконавчого механізму (сервоприводу) внаслідок дуже малої постійної часу (0,64 с).

Визначення передатної функції неперервної частини розімкненої системи

$$W_{PO3}^{HQ}(s) = \frac{k_{CE}}{T_{CE} \cdot s + 1} \cdot \frac{k_{OV}}{T_{OV} \cdot s + 1} \cdot e^{-\tau \cdot s} = \frac{k_{CE} \cdot k_{OV} \cdot e^{-\tau \cdot s}}{T_{CE} \cdot T_{OV} \cdot s^2 + (T_{CE} + T_{OV}) \cdot s + 1} \quad (4.1)$$

$$W_{PO3}^{HQ}(s) = \frac{0,04 \cdot e^{-20 \cdot s}}{4800 \cdot s^2 + 335 \cdot s + 1}.$$

Передатна функція замкненої неперервної частини

$$W_{3AM}^{HQ}(s) = \frac{W_{PO3}^{HQ}(s)}{1 + W_{PO3}^{HQ}(s)}. \quad (4.2)$$

$$W_{PO3}^{HQ}(s) = \frac{0,04 \cdot e^{-20 \cdot s}}{(4800 \cdot s^2 + 335 \cdot s + 1) + 0,04 \cdot e^{-20 \cdot s}}.$$

У результаті розв'язання рівняння

$$A(\omega) = \frac{k_{CE} \cdot k_{OV}}{\sqrt{(-T_{CE} \cdot T_{OV} \cdot \omega^2 + 1 + k_{CE} k_{OV})^2 + (T_{CE} \cdot T_{OV})^2 \cdot \omega^2}} = 0,01. \quad (4.3)$$

Скориставшись математичним пакетом Mathcad, отримаємо значення частоти (рис. 4.1) та періоду квантування.

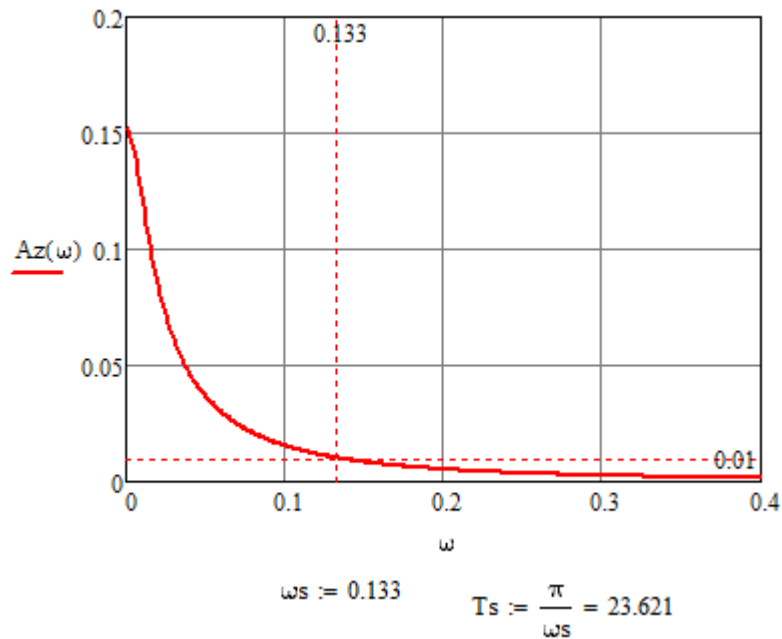


Рис. 4.1. Визначення періоду квантування ЦСК у пакеті Mathcad

$$\omega_c = 0,133.$$

Час квантування

$$T_K = \frac{\pi}{\omega_c} = 23,6 \text{ с.} \quad (4.4)$$

4.2. Визначення показників якості роботи цифрової системи керування

Аналогічно з неперервними системами, в цифрових системах можна реалізувати ПІ-алгоритм керування (рис 4.2).

Синтез ПІ-регулятора полягає у знаходженні параметрів K_p, K_i .

Параметр інтегральної складової регулятора, який залежить від добротності за швидкістю K_v неперервної частини, визначається за виразом

$$K_i = \frac{K_v}{\lim_{z \rightarrow 1} W_{\text{н.ч.}}(z)} \quad (4.5)$$

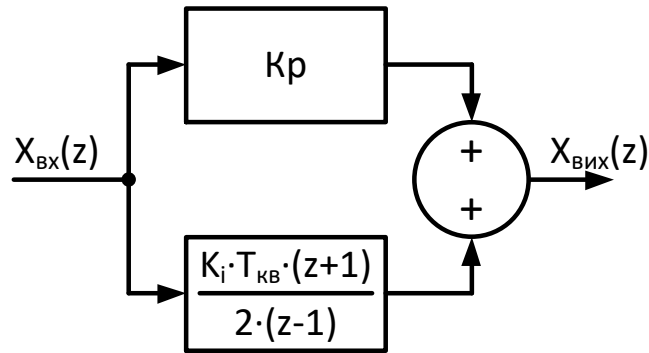


Рис. 4.2. Структурно-алгоритмічна схема цифрового ПІ-регулятора:

K_p , K_i – параметри відповідно пропорційної та інтегральної складових ПІ-регулятора, $T_{кв}$ – час квантування

Добротність за швидкістю визначається залежно від постійної часу об'єкта (табл. 4.1).

Таблиця 4.1.

Визначення добротності за швидкістю

T_o, c	K_v
~ 1	3...10
~ 10	0,3...1
~ 100	0,01...0,04
~ 1000	0,004...0,012

Згідно з таблицею $K_v = 0,025$, оскільки $T_{oy} = 320$ с.

Для визначення передатної функції $W_{н.ч.}(z)$ застосовуємо пакет імітаційного моделювання MATLAB, використовуючи операції завдання передатної функції неперервної системи $w = \text{tf}([K_o], [T_v \cdot T_o \quad T_v + T_o \quad 1])$ та Z-перетворення неперервної передаточної функції на дискретну $wz = c2d(w, T_k)$, де w – змінна, що отримала вираз неперервної передатної функції, T_k – період квантування.

При синтезі ПІ-регулятора пам'ятаємо, що ПІ-регулятор компенсує лише один полюс Z-перетворення неперервної частини:

Тоді

$$K_i := \frac{0.025}{\left(\frac{0.0002933 \cdot 1^2 + 0.03046 \cdot 1 + 0.008044}{1^3 - 0.8239 \cdot 1^2 + 0.04038 \cdot 1} \right)} = 0.179$$

Після знаходження K_i параметр K_p визначаємо таким чином, щоб компенсувати полюс Z -перетворення неперервної частини системи.

Передаточна функція ПІ-регулятора має вигляд:

$$\begin{aligned} W_{\text{ПІ}}(z) &= \frac{K_i \times T z + 1}{2} \frac{1}{z - 1} = \frac{2 \times K_p \times z - 2 \times K_p + K_i \times T \times z + K_i \times T}{2z - 2} = \\ &= \frac{(2 \times K_p + K_i \times T)z + (K_i \times T - 2 \times K_p)}{2(z - 1)} = \\ &= \frac{(2 \times K_p + K_i \times T) \left[z + \frac{K_i \times T - 2 \times K_p}{2 \times K_p + K_i \times T} \right]}{2(z - 1)} \end{aligned} \quad (4.6)$$

Для компенсації полюсу необхідно знайти такий K_p , який би задовольняв рівняння:

$$K_p := 1$$

Given

$$\frac{K_i \cdot T_s - 2 \cdot K_p}{K_i \cdot T_s + 2 \cdot K_p} = -0.7716$$

$$\text{Find}(K_p) = 16.357$$

Лістинг 3.1. Знаходження параметра K_p цифрового ПІ-регулятора у пакеті Mathcad

Для дослідження показників якості роботи цифрової системи використана модель у пакеті імітаційного моделювання MATLAB/Simulink (рис. 4.3) та отримуємо перехідний процес цифрової системи з ПІ-регулятором (рис. 4.4).

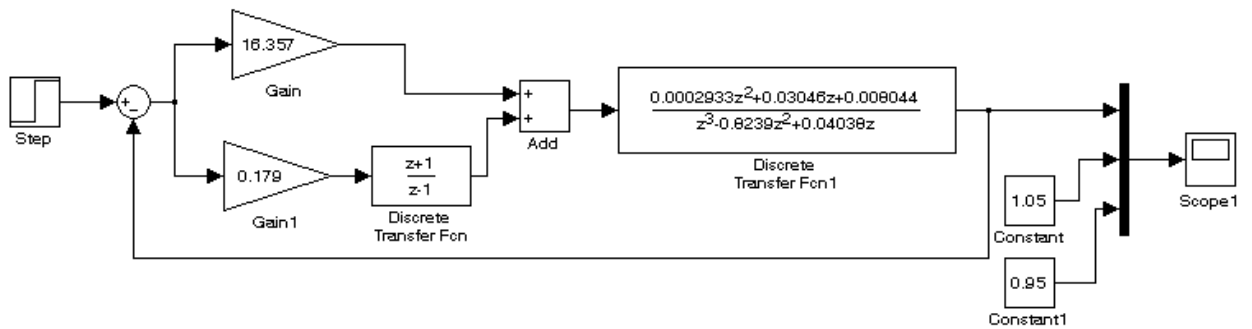


Рис. 4.3. Структурно-алгоритмічна схема цифрової системи керування температурним режимом у БГУ у пакеті MATLAB/Simulink

За характером перехідного процесу видно, що система є стійкою із наступними показниками якості роботи:

Час регулювання $t_p = 180$ с; перерегулювання $\sigma = 22\%$; коливальність $n=1$; відсутня статична похибка. Ці показники задовольняють технологічні вимоги процесу виробництва біогазу у БГУ.

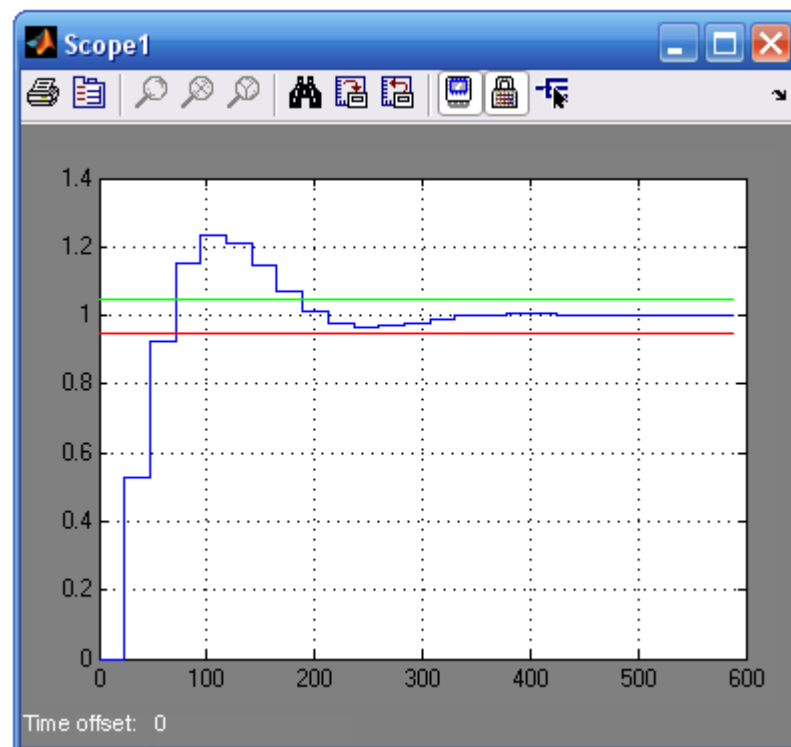


Рис. 4.4. Перехідний процес цифрової САК температурним режимом у біореакторі БГУ

РОЗДІЛ 5

СХЕМИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

5.1. Розробка схеми електричної принципової системи керування температурним режимом у біогазовій установці

Фрагмент схеми електричної принципової системи керування температурним режимом у біореакторі БГУ наведена на рис. 5.1 та на листі №2 графічної частини бакалаврської кваліфікаційної роботи. Вона передбачає два режими роботи – ручний і автоматичний. Перемикання між режимами роботи здійснюється за допомогою трипозиційного перемикача SA1 (у положенні "0" система знаходиться у вимкненому стані; положення "А" відповідає переведення режиму роботи в автоматичний, "Р" – у ручний режим роботи).

У ручному режимі роботи керування виконавчими механізмами здійснюється за допомогою кнопок SB1-SB6, які оснащені додатковими допоміжними контактами. Кнопкою SB2 "Пуск" подається напруга, що замикає контакт 4 магнітного пускача KM1.2, який також підключений до кнопки SB3 "стоп". Це дозволяє ввімкнути двигун. Напруга від кнопки SB3 поступає до контакту 5 датчика кутового положення клапана SQ1, а потім подається на контакт 6 магнітного пускача KM1.3. Напруга через контакт 7 поступає до електродвигуна і до лампочки HL1, яка сигналізує про стан включення або виключення двигуна, а потім йде з лампочки на нейтральний провід (N).

Щоб змінити напрямок обертання клапана у зворотний бік, необхідно натиснути кнопки SB2 "Пуск", що встановлює зміну фази і замикає контакт 4 магнітного пускача KM2.2, який також з'єднаний із кнопкою SB3 "Стоп", вмикаючи двигун. Напруга з кнопки SB3 досягає контакту 8 SQ2, після чого напруга подається на контакт 9 магнітного пускача KM2.3. Із магнітного пускача напруга через контакт 10 подається на двигун та лампочку HL2, яка

подає сигнал на ввімкнення та вимкнення двигуна. З лампочки напруга надходить на нейтральний провід (N).

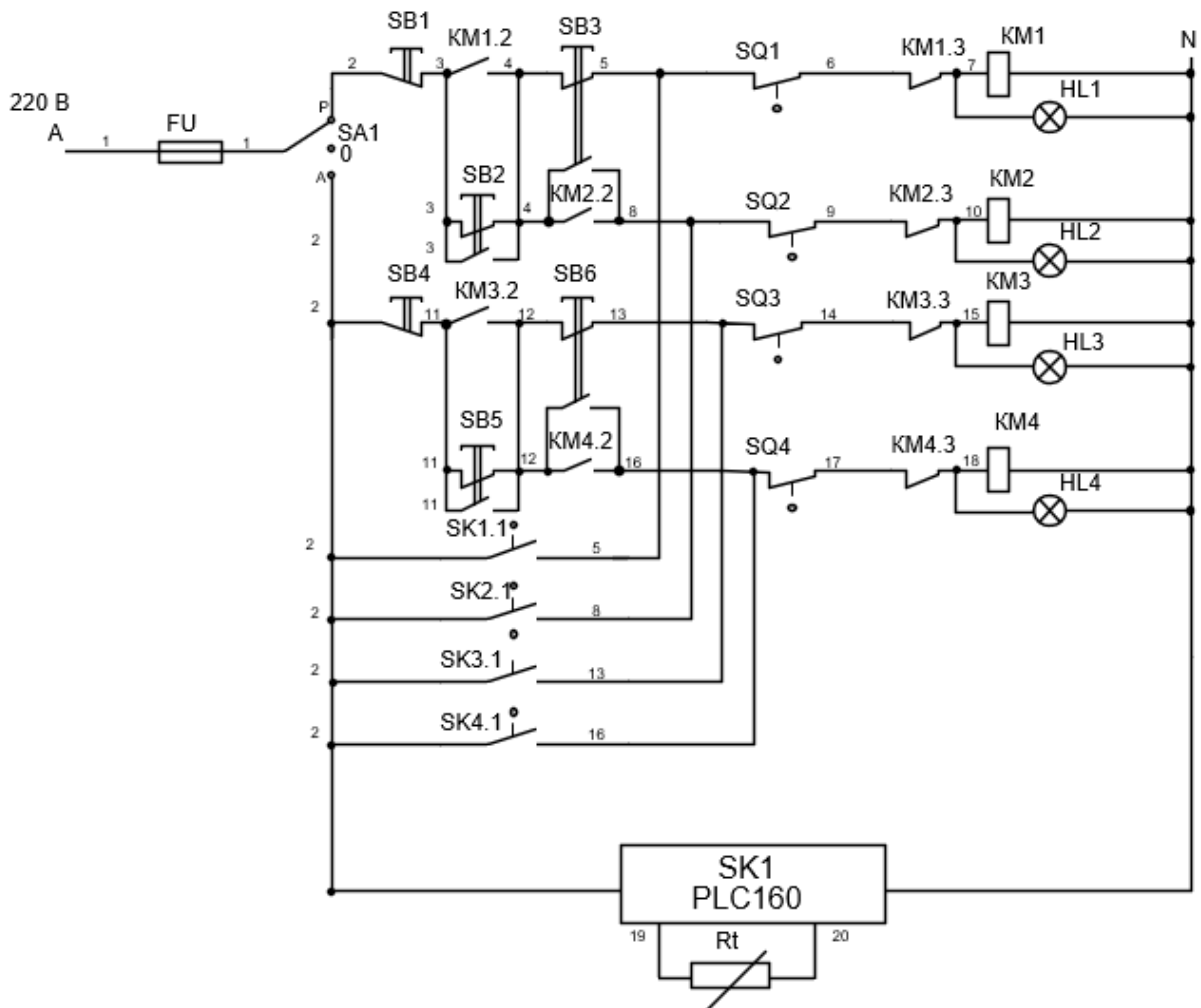


Рис. 5.1. Фрагмент схеми електричної принципової системи керування температурним режимом у біогазовій установці

Автоматичне керування. Переведення системи керування в автоматичний режим здійснюється переведенням перемикача SA1 у положення "А". При цьому подача живлення на контактори електромагнітних пускачів KM1, KM2, KM3 і KM4 здійснюється програмованим логічним контролером SK1. Як уже було зазначено, керування температурою субстрату у біореакторі БГУ здійснюється збільшенням або зменшенням витрати теплоносія (гарячої води), що протікає в трубах системи підігріву субстрату.

Обертанням електроприводів M1 і M2 керує контролер SK1.

Схема видає оптичний сигнал на вмикання і вимикання електродвигуна, який захищений автоматом QF1. Ланцюг керування захищено запобіжником FU1.

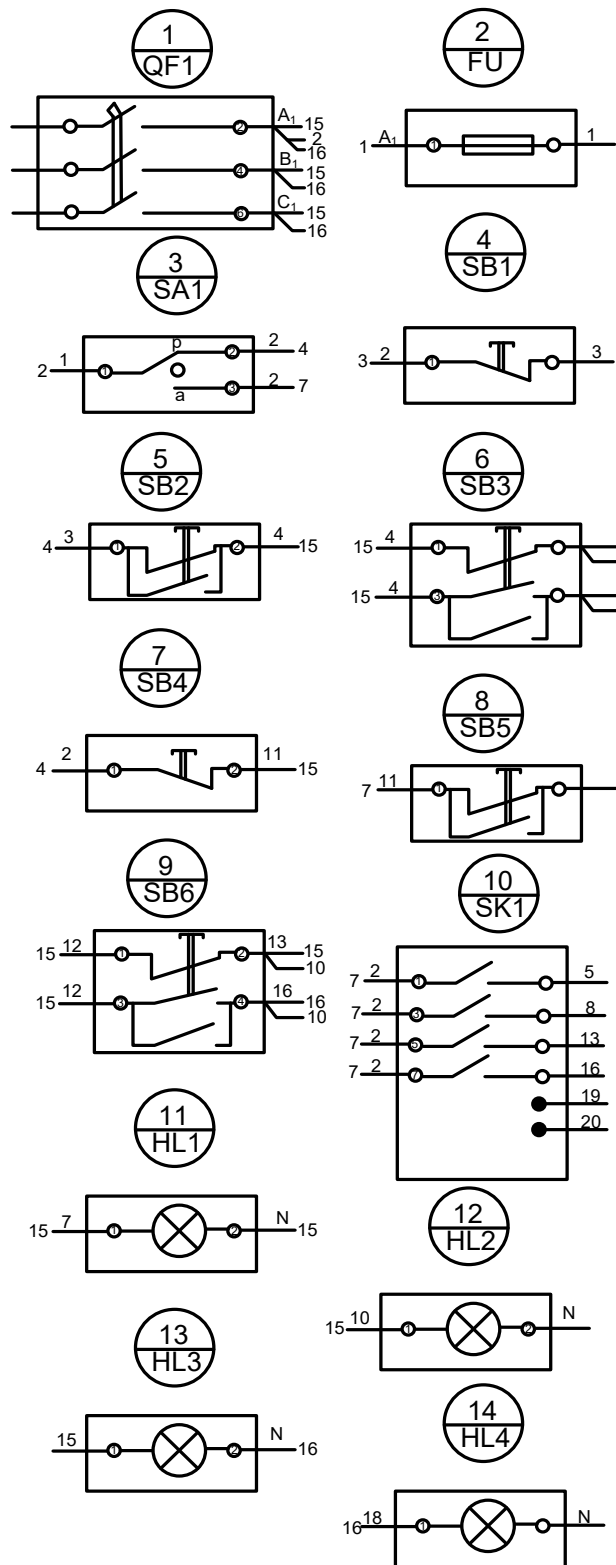


Рис. 5.2. Схема електрична з'єднань (початок)

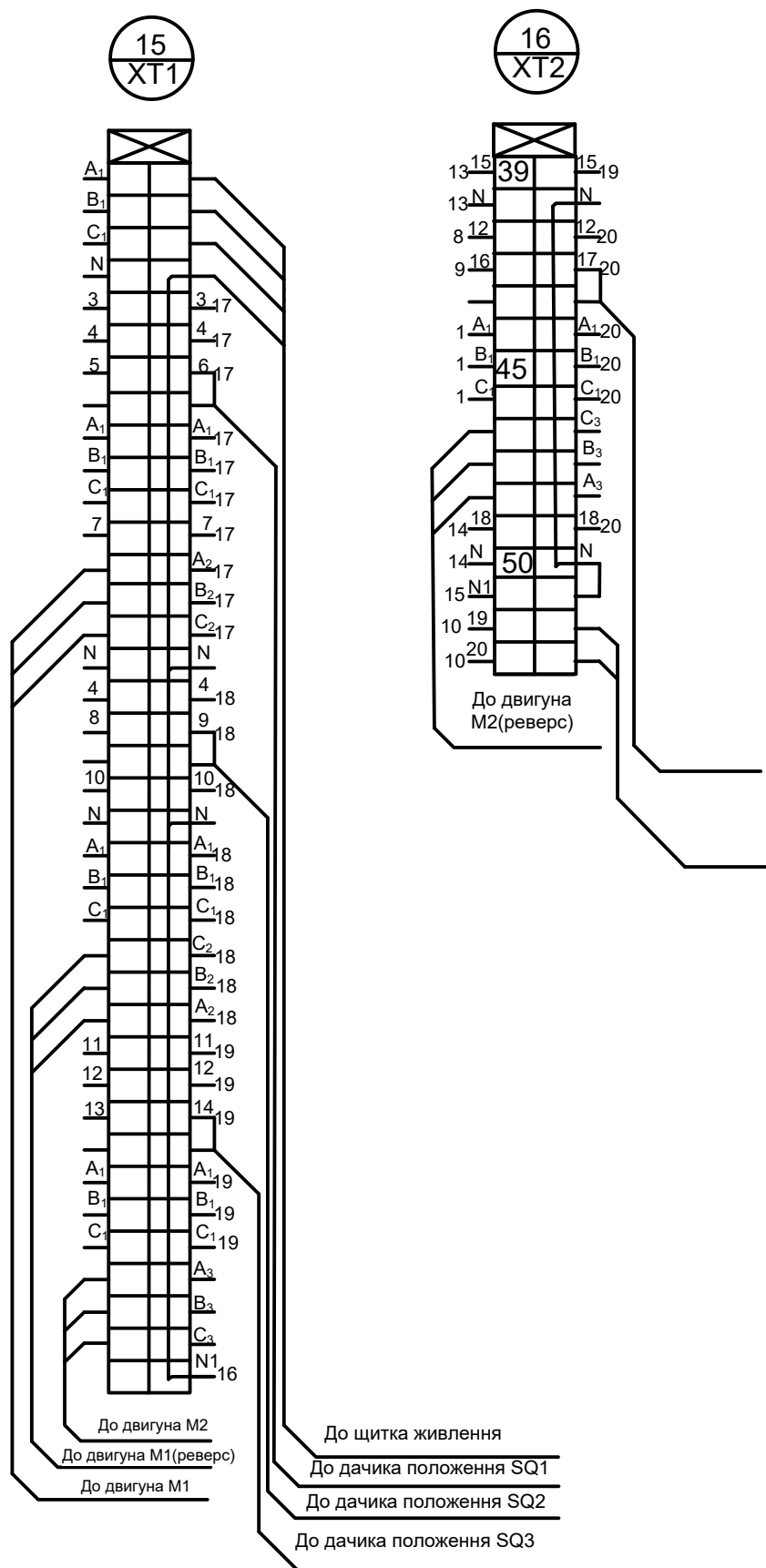


Рис. 5.3. Схема електрична з'єднань (збірка клемних затискачів)

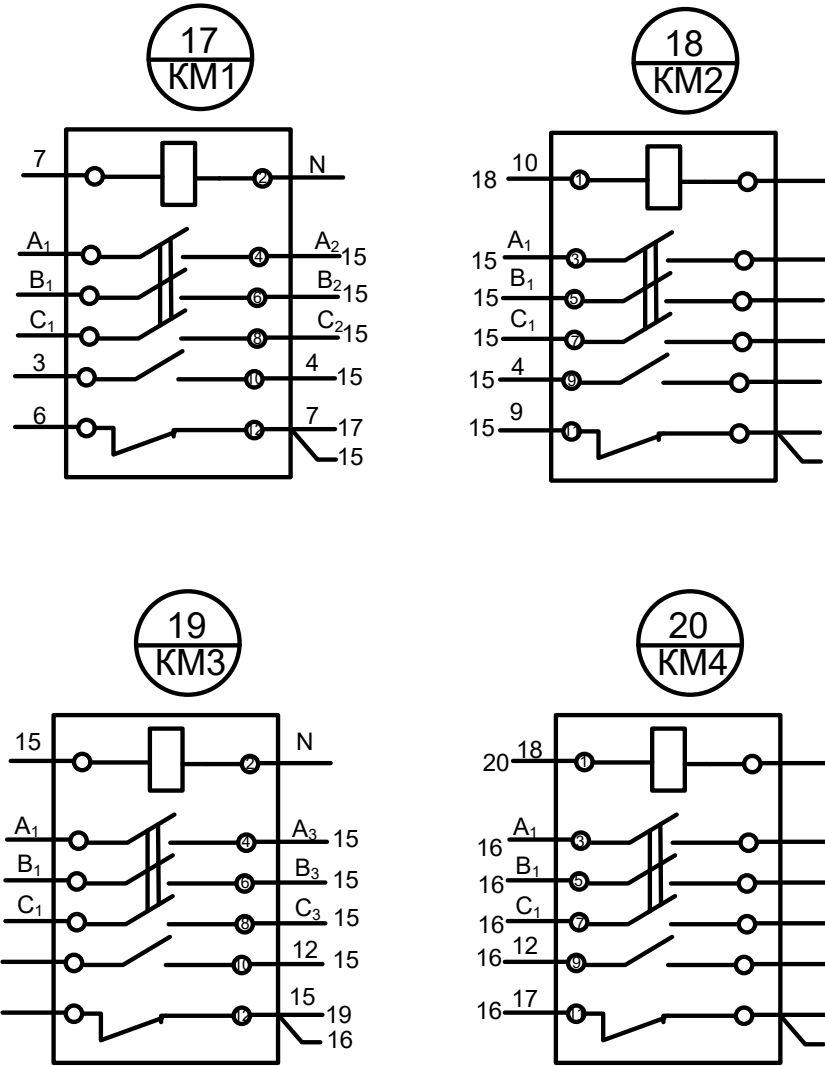


Рис. 5.4. Схема електрична з'єднань (закінчення)

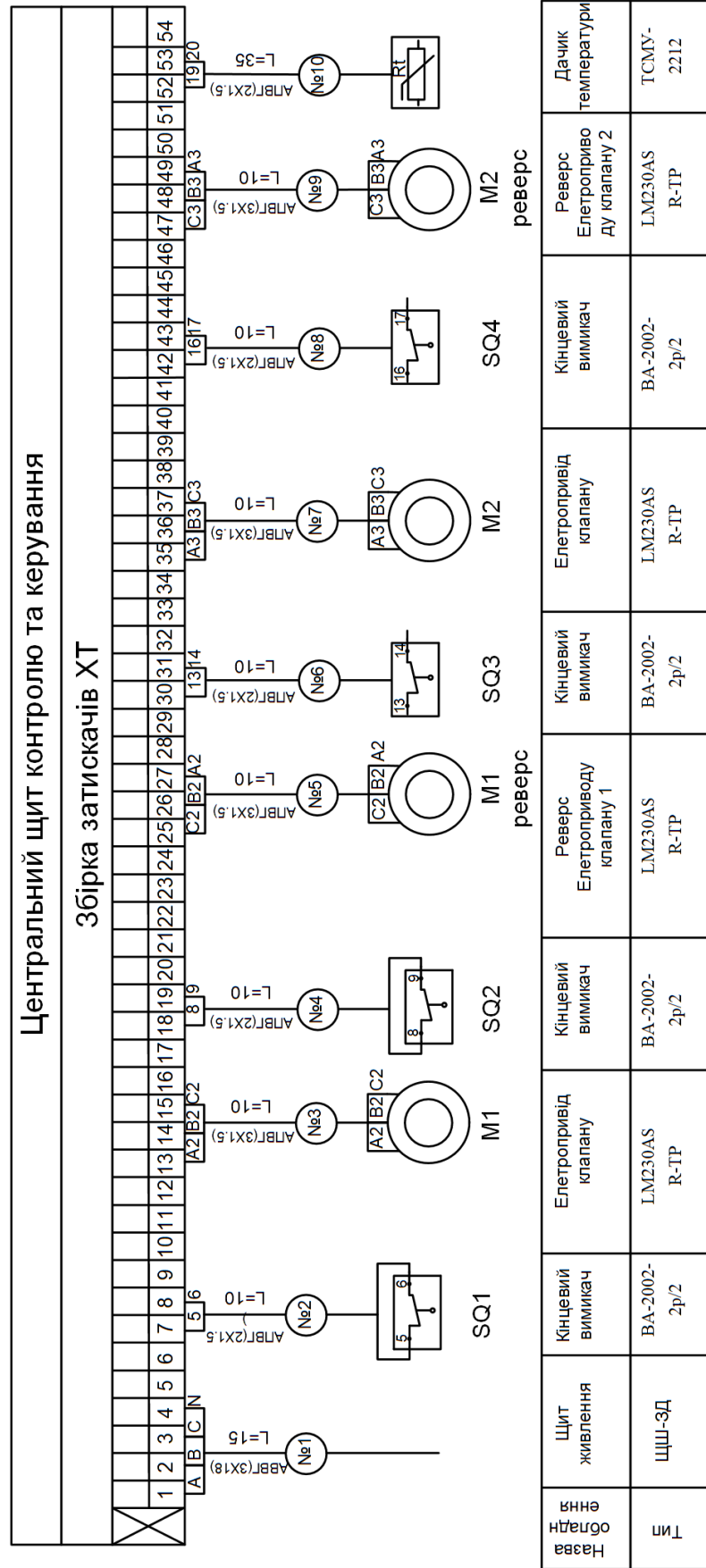


Рис. 5.5. Схема електрична підключень

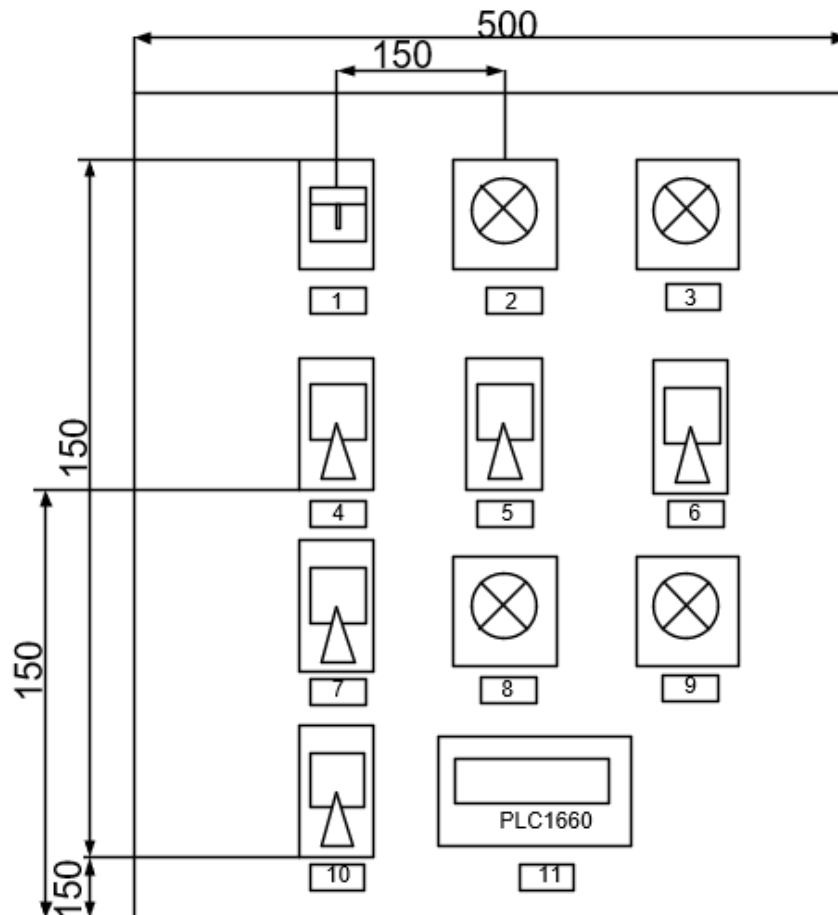


Рис. 5.6. Зовнішній вигляд шафи керування

5.2. Розробка засобів візуалізації технологічного процесу

Візуалізація – метод подання інформації у вигляді оптичного зображення (наприклад, у вигляді малюнків і фотографій, графіків, діаграм, структурних схем, таблиць, карт і т. д.).

При візуалізації керування використовують такі підходи:

- SCADA SYSTEM (TRACE MODE, Genesis);
- контролер з панеллю оператора;
- контролер з дисплеєм.

Вибір технічних засобів для забезпечення візуалізації залежить від кількості інформації та величини ОК. У разі масштабних об'єктів

використовують SCADA-системи.

SCADA - програмний комплекс для візуалізації та диспетчеризації технологічних процесів. SCADA-система дає наочне уявлення процесу і надає, як правило, графічний інтерфейс оператору для контролю і керування.

Враховуючи об'єм технічних засобів, було виконано візуалізацію інтерфейсу оператора за допомогою SCADA TRACE MODE (AdAstrA), яка є одним з рішень автоматизації технологічних процесів (АСУТП), і розроблено автоматизовану систему контролю та керування температурним режимом у біогазовій установці.

Розроблена SCADA-система дозволяє виконувати головні задачі технологічного процесу керування параметрами виробництва біогазу:

- ефективно керувати та контролювати технологічним процесом;
- забезпечити високий рівень надійності та безпеки;
- оптимізувати витрати енергоресурсів;
- отримувати дані в режимі реального часу;
- мати доступ до проєкту з будь-якого місця;
- реалізувати підсистему підтримки прийняття рішень.

Для візуалізації основних параметрів системи автоматичного керування на головному екрані розміщуємо функціональну схему біореактора з зазначенням не ній основних параметрів: температуру субстрату; температуру води на вході мережі теплопостачання; кут відкриття засувки (рис. 5.7). Окремим графічним елементом позначаємо роботу окремих вузлів: червоний колір – вимкнено, зелений колір увімкнено. Комп'ютерно-інтегрована система керування температурою субстрату в біореакторі передбачає автоматичний режим роботи за замовчанням, але для інженерних налаштувань та аварійних режимів роботи передбачено переведення роботи системи на ручне керування. В додатковому вікні налаштувань можна змінити коефіцієнти регулятора. Також передбачено налаштування роботи насоса і мішалки. Вся інформація з датчиків температури, тиску, вологовмісту та концентрації записується в архів для подальшого можливого опрацювання.

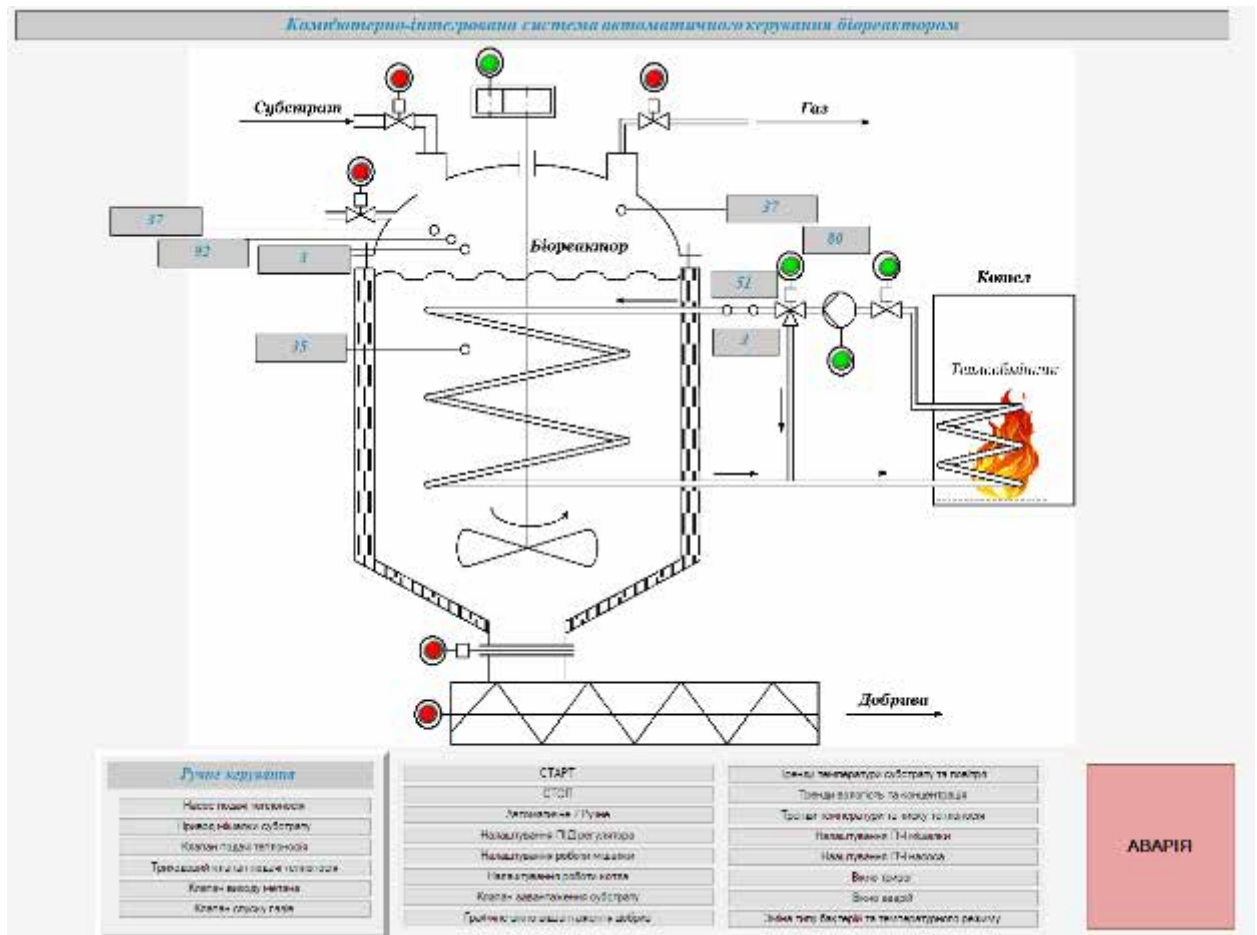


Рис. 5.7. Головний екран комп'ютерно-інтегрованої системи керування температурним режимом у біогазовій установці

5.3. Розрахунок і вибір пускозахисної апаратури та з'єднувальних проводів

Превентивні заходи, як-от увімкнення та вимкнення споживачів електроенергії та ділянок мережі, вимагають наявності пристроїв активації, які захищають від перевантажень і коротких замикань у разі аварійної ситуації.

У цьому випадку для забезпечення безпеки в ланцюгах керування електричними колами було використано запобіжники й автоматичні вимикачі (рис. 5.8).

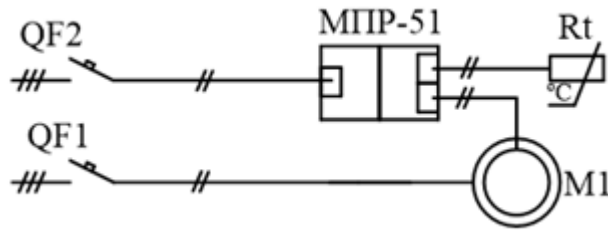


Рис. 5.8. Однолінійна схема підключення електрообладнання САУ тепловим режимом ТОУ

Умови, необхідні для захисту електроустановок, приведено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1

Умови вибору автоматичних вимикачів

№ п/п	Найменування параметра	Умова вибору
1	Номінальна напруга	$U_{a\text{ ном}} \geq U_{роб\text{ max}}$
2	Номінальний струм автомата	$I_{a\text{ ном}} \geq I_{у\text{ ном}}$
3	Номінальний струм теплового розчіплювача	$I_{р\text{ ном}} \geq k_{нр} \cdot I_{роб\text{ max}}$

Із таблиці видно значення таких параметрів: номінальна напруга мережі ($U_{a\text{ ном}}$) та робоча напруга ($U_{роб\text{ м}}$) виражені у вольтах (В); номінальний струм вимикача ($I_{a\text{ ном}}$) та установки ($I_{у\text{ ном}}$) виражені у амперах (А); коефіцієнт надійності розчіплювача ($k_{нр}$) має межі від 1,1 до 1,3; максимальний робочий струм ($I_{роб\text{ max}}$) виражений у амперах (А).

Обираємо автоматичний вимикач типу ВА-2002-2р/2 (рис.5.9).



Рис. 5.9 – Автоматичний вимикач УКРЕМ ВА-2002-2р/2.

Автоматичний вимикач УКРЕМ ВА-2002 - це автоматичний вимикач типу " Фаза+Нейтраль ", що відповідає вимогам стандартів ДСТУ 3025-95 і МЕК 60898, зі ступенем захисту IP20.

Ми здійснюємо вибір електричних з'єднувальних проводів.

Електропроводка - це комплекс проводів, кабелів і відповідних кріплень та захисних конструкцій. У стаціонарній електропроводці переважно використовують дроти та кабелі з алюмінієвими жилами. Під час внутрішньої проводки необхідно забезпечити мінімальні протяжність. Перетин струмопровідної жили дроту або кабелю має бути обрано таким чином, щоб забезпечити максимально допустиме нагрівання і достатню механічну міцність.

Під час розрахунку кількості проводів, які необхідно прокласти в одній трубі, нульовий провідник чотирипровідної трифазної системи зазвичай не враховують.

Площу поперечного перерізу провідника обирають з урахуванням максимально допустимого струму, який може протікати через провідник протягом тривалого періоду часу:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{н.роз}}, \quad (5.1)$$

Діроз - це розрахункове значення струму А для даної ділянки електричної мережі.

- Номінальний струм.

$$I_{\text{роз}} = \frac{P_H}{U_{\text{робм}} \cdot \cos \varphi_H} \quad (5.2.)$$

Виконаємо розрахунок для вибору номінального струму проводу:

$$I_H = \frac{12}{220 \cdot 1} = 0,054 \text{ А} \quad (5.3)$$

Для розрахунку вибору проводу будемо використовувати кабель ШВВП (2x0,75) згідно з рисунком 5.10, який має тривалий допустимий струм 12 А: 12 А > 0,054 А



Рис. 5.10. Кабель ШВВП з ПВХ ізоляцією.

Провід ШВВП2x0,75 – силовий провід має дві багатодротяні мідні жили з перерізом 0,75 мм, номінальним навантаженням до 380В/12А та робочою температурою -40°C до +40°C.

РОЗДІЛ 6

ДОЦІЛЬНІСТЬ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ДОМОГОСПОДАРСТВАМИ ІНДИВІДУАЛЬНИХ БГУ

Технологія виробництва біогазу передбачає зброджування органічних речовин в реакторі установки, в результаті чого утворені після переробки біологічні добрива мають здатність покращувати фізичні властивості ґрунту, а мінеральні речовини, які входять до його складу, є джерелом енергії для живлення ґрунтових мікроорганізмів. Усе це сприяє підвищенню засвоєння поживних речовин сільськогосподарськими культурами. До позитивних якостей біодобрива можна віднести наявність у його складі органічних речовин, здатних збільшувати проникність і гігроскопічність ґрунту, що запобігає його ерозії та покращує ґрунтові умови. Наявність органічних речовин є основою для розвитку мікроорганізмів, які перетворюють поживні речовини ґрунту у легкозасвоювану для рослин форму. З метою ефективної роботи бактерій в реакторі підтримується певна температура. Як було зазначено у попередніх розділах, залежно від обраного технологічного процесу існують три температурні режими роботи біогазових установок: психрофільний, мезофільний, термофільний.

Домогосподарствам України, враховуючи природно-кліматичні умови та виходячи з потреб виробництва біогазу, доцільно використовувати біогазові установки з *термофільним* режимом роботи.

З метою забезпечення енергонезалежності домогосподарства (обігрів будинку, приготування їжі, нагрів води для побутових та господарських потреб) незалежно від пори року, приймемо, що оптимальним (за потребами, за виходом газу, за наявністю біосировини, за фінансовою спроможністю) для використання у домогосподарствах є індивідуальна БГУ об'ємом реактора 5м³.

Для домогосподарств пропонується невелика установка з можливістю безперервного ручного завантаження біосировини, ручним або

автоматизованим перемішуванням, вихід біогазу якої становить 12 м^3 при температурі 55°C . Отриманий біогаз містить від 65% метану (CH_4) та 35% вуглекислого газу (CO_2) (рис. 6.1). З метою зменшення тепловтрат (особливо в опалювальний період) вважаємо за доцільне розмістити установку у вбудованому в ґрунті цегляному бункері (корпусі) радіусом 2,0-2,1 м та глибиною 2,2 м.

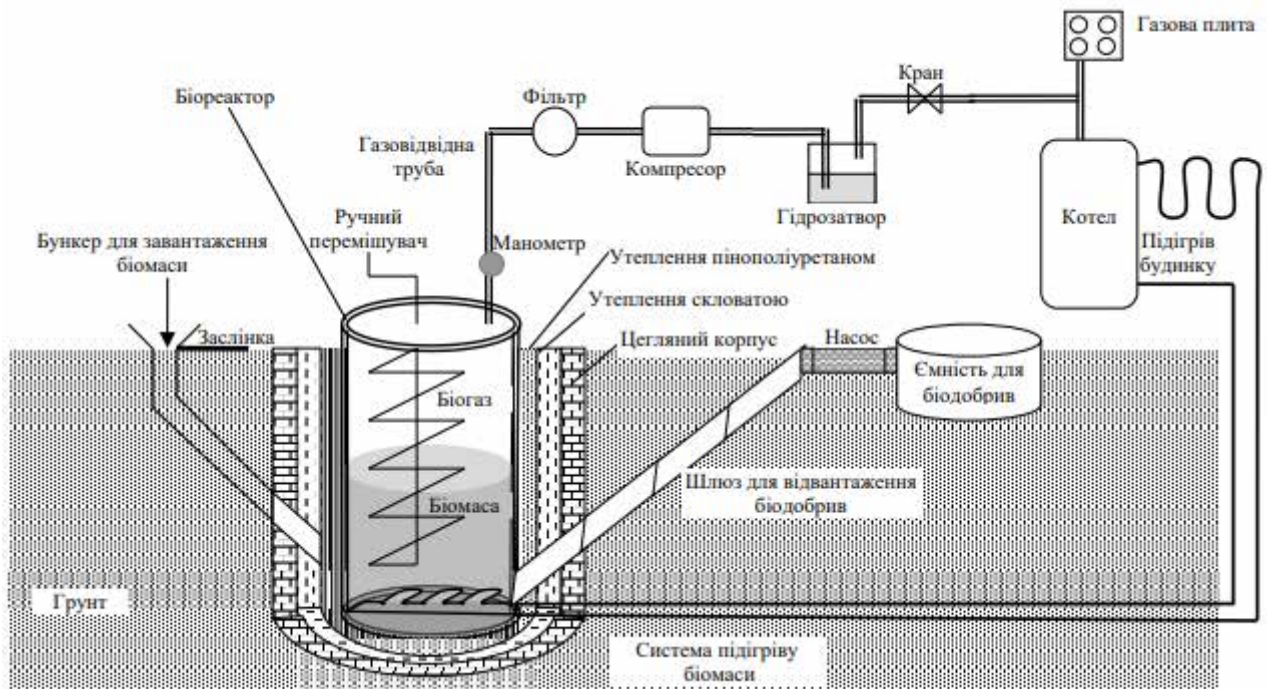


Рис. 6.1. Принципова схема роботи індивідуальної БГУ в домогосподарстві

У результаті числового моделювання із визначення тепловтрат у разі різного розміщення та з різним утепленням біогазових установок встановлено, що під час розміщення БГУ в ґрунті тепловтрати в навколишнє середовище зменшуються на 26% [21]. Для регулювання інтенсивності роботи встановлюється ручний вертикальний перемішувач. Для забезпечення довготривалої роботи біоустановки бетон має бути сульфатостійкий, стійкий до лужної корозії; з мінімальним класом за міцністю С35/45; з мінімальною витратою цементу 360 кг/м^3 ; з максимальним водоцементним відношенням – 0,45 та водонепроникністю не нижче W8.

Після розведення сировини до отримання однорідної маси потрібної вологості її завантажують в реактор, який заповнюється не більше, ніж на $2/3$ внутрішнього об'єму. Об'єм реактора, що залишився, використовується для накопичення біогазу. Для забезпечення контролю тиску всередині ємності та безпеки експлуатації, необхідно встановити манометр. Крім того, варто передбачити монтаж запобіжного клапана, який забезпечить скидання надлишку газу при підвищенні тиску всередині ємності вище нормованих значень.

Важливий фактор, що впливає на продуктивність реактора, це температура органічної маси. З метою безперервного отримання біогазу протягом року, необхідно здійснити облаштування системи обігріву біореактора. Вважаємо за доцільне використати таке технологічне рішення, як система трубопроводів з циркулюючою гарячою водою, яка встановлюється на дні конструкції і підключається до опалення.

З метою складання кошторису на БГУ в домогосподарстві варто було б додати уточнення щодо вартості окремих її складових.

Для будівництва циліндричного цегляного бункера (радіусом 2,0-2,1 м, глибиною 2,2 м) із урахуванням кладки в 0,5 цегли (товщиною 12 см) та товщиною шва (до 10 мм) необхідно близько 1350 шт. цегли загальною вартістю близько 3,6 тис грн. Вартість цементу становитиме близько 0,7 тис. грн. Для кращого збереження тепла вважаємо за необхідне додаткове використання такого теплоізоляційного матеріалу, як скловата, вартість якої становитиме близько 1,2 тис. грн.

Теплоізоляцію реактора пропонується здійснити методом напилення пінополіуретану ($0,022 \text{ Вт/м}^2$) – теплоізоляційного матеріалу з низьким коефіцієнтом теплопровідності, стійкого до впливу води і агресивних середовищ. Утеплення реактора за допомогою напилення пінополіуретану має такі переваги: утворення монолітного покриття по всій поверхні ємності без швів і щілин; можливість напилювання матеріалу будь-якої товщини; термін

служби складає до 50 років; матеріал є екологічно чистим і не підтримує самостійного горіння (група горючості Г3).

Маючи розміри реактора (циліндричної пластикової ємності радіусом 0,93 м, висотою – 2,02 м), знаходимо її площу (17,2 м²) для підрахунку вартості утеплення пінополіуретаном, що становить близько 3,0 тис. грн. Аналіз ринку міні БГУ в Україні свідчить, що ціни на біогазову установку з необхідними для домогосподарства параметрами коливаються від 42 тис. грн. (станом на червень 2021 року) до 50 тис. грн., що є дороговартісним для середнього домогосподарства.

Складемо кошторис біогазової установки з газгольдером, ручною підготовкою і пневматичним завантаженням та перемішуванням сировини, з підігрівом сировини в реакторі (табл. 6.1).

Таблиця 6.1.

Кошторис на будівництво біогазової установки в домогосподарствах

№ з/п	Складові біогазової установки	Орієнтовна вартість, тис. грн
1	Біогазова установка	
	Реактор (циліндрична пластикова ємність)	13,5
	Бункер для завантаження біомаси	0,1
	Фільтр	0,3
	Ручний перемішувач	0,1
	Компресор	1,5
	Манометр	0,2
	Шлюз для завантаження та відвантаження біодобрив (пластикова труба діаметром 50 см)	1,3
	Насос	2,0
	Пластикові труби для системи підігріву біомаси (діаметром 32 мм)	0,4
	Газовідвідна труба	0,2
	Гідрозатвор	0,1
	Кран	0,2
2	Будівництво цегляного бункера	
	Цегла	3,6
	Цемент	0,7
3	Утеплення установки	
	Скловата	1,2
	Пінополіуретан	3,0
	Разом	28,4

Отже, загальна вартість БГУ складає 28,4 тис. грн., що є доступним для домогосподарств навіть з невисоким рівнем доходу. З метою розрахунку

терміну окупності, варто здійснити оцінку витрат в частині забезпечення енергонезалежності домогосподарств. Оскільки домогосподарства, крім утримання тварин, можуть займатись і рослинництвом, побічною продукцією якого є бур'яни, вважаємо за доцільне розглянути особливості роботи біогазової установки при комплексному завантаженні сировини.

Перш, ніж приймати рішення щодо будівництва біогазової установки власними силами, вважаємо за необхідне здійснити планування потреби біогазу, а також необхідної кількості утримуваних в домогосподарстві тварин та рослинної сировини.

Здійснюючи розрахунки щодо планування потреби сировини для ефективної роботи біогазової установки в домогосподарстві (табл. 6.2), виходимо з того, що 1 м^3 біогазу еквівалентний за теплотворною здатністю $0,65\text{ м}^3$ природного газу. Результати дослідження в частині витрат природного газу в домогосподарствах в опалювальний період свідчать, що населення здійснює опалення тільки частини будинку, де витрати природного газу досягають за 1 місяць $3,8\text{--}4,0\text{ м}^3$ на 1 м^2 площі будинку.

Передбачається забезпечувати повну енергонезалежність домогосподарства (опалення, підігрів води, збереження температурного режиму БГУ), яке складається з 4-5 осіб за рахунок використання БГУ об'ємом реактора 5 м^3 .

У зв'язку з тим, що енергетична цінність гною різних видів тварин не однакова, то і вихід біогазу також відрізняється. Вихід CH_4 з гною свинячого становить $0,54\text{ м}^3/\text{кг}$, з гною ВРХ – $0,28\text{ м}^3/\text{кг}$, з пташиного посліду – $0,41\text{ м}^3/\text{кг}$; при використанні силосних відходів – $0,22\text{ м}^3/\text{кг}$, соломи – $0,3\text{ м}^3/\text{кг}$, трави – $0,44\text{ м}^3/\text{кг}$, стебел кукурудзи – $0,4\text{ м}^3/\text{кг}$ [5].

В опалювальний сезон передбачається використовувати силосні відходи, гній свиней, гній ВРХ та пташиний послід (вихід біогазу при змішуванні біосировини (за власними дослідженнями) становить $0,37\text{ м}^3/\text{кг}$), а в літній період більше буде використовуватись зелена маса кукурудзи,

бур'яни, гній свиней, гній ВРХ та пташиний послід (вихід біогазу при змішуванні біосировини становить 0,41 м³/кг).

Таблиця 6.2.

Планування потреби сировини для ефективної роботи біогазової установки в домогосподарстві (об'ємом реактора 5м³)

Площа будинку площа, м ²	Опалю- вана площа, м ²	Період	Потреба природного газу, м ³ /місяць	Потреба біогазу, м ³ /місяць	Потреба біогазу, м ³ /добу	Вихід біогазу, м ³ /кг	Потреба сировини, кг/добу
60	40	Опалю- вальний період	152-160	233,8- 246,2	7,8-8,2	0,37	21,1-22,2
	-	Міжопалю- вальний період	20	30,8	1,0	0,41	2,5
80	50	Опалю- вальний період	190-200	292,3- 307,7	9,7-10,3	0,37	26,3-27,7
	-	Міжопалю- вальний період	20	30,8	1,0	0,41	2,5-2,8
100	60	Опалю- вальний період	228-240	350,8- 369,2	11,7- 12,3	0,37	31,6-33,3
	-	Міжопалю- вальний період	20	30,8	1,0	0,41	2,5-2,8

Оцінюючи табл. 6.2, бачимо, що БГУ об'ємом реактора 5 м³ в змозі забезпечити задоволення потреб домогосподарства в опалювальний сезон з площею будинку до 100 м² . Оскільки вихід біогазу становить 12 м³ на добу, здійснивши перерахунок добової потреби біогазу (в залежності від сезонності) нами визначено, що для забезпечення домогосподарства біогазом протягом року потрібно мати запас біосировини від 21,1 до 33,3 кг/добу (залежно від площі будинку).

Визначимо мінімальну кількість утримуваних в домогосподарстві тварин та рослинної сировини для роботи біогазової установки.

Вважається, що за добу вихід екскрементів може становити: великої рогатої худоби – 8-10 %, свиней – 6-8 % від їх живої маси. В абсолютних величинах добовий вихід екскрементів від однієї голови корови сягає 40-55 кг,

однієї свині - 8-10 кг. При цьому вологість екскрементів великої рогатої худоби становить 85-92 %, а свиней – 86-91 % [24].

Встановлено, що за добу від кожних 100 голів птахів утворюється 25 кг посліду з вологістю 56-60 % [24].

Взявши мінімальні значення виходу екскрементів, вважаємо за доцільне розрахувати кількість тварин лише для забезпечення роботи біогазової установки на відходах тваринництва в опалювальний період, оскільки зрозуміло, що за таких умов в літній період біогазу вистачатиме з надлишком, а додавання відходів рослинництва сприятиме збільшенню його виходу. Відповідно до вищенаведених даних розглянемо два варіанти: I варіант – можливість утримання домогосподарством ВРХ та птиці; II варіант – можливість утримання домогосподарством свиней та птиці (табл. 6.3).

Таблиця 6.3.

Розрахунок кількості утримуваних тварин для забезпечення роботи біогазової установки (комплексно) в домогосподарстві

Площа будинку, м ²	Необхідна сировина, кг/добу	Кількість голів, при виході сировини з 1 голови (мінімальне значення)			
		I варіант		II варіант	
		ВРХ (40 кг/добу)	Птахів (0,25 кг/добу)	Свиней (8 кг/добу)	Птахів (0,25 кг/добу)
60	21,1-22,2	1	5	3	10
80	26,3-27,7	1	10	4	20
100	31,6-33,3	1	10	5	20

Отже, бачимо, що для забезпечення роботи БГУ об'ємом біореактора 5 м³ та виходом біогазу 12м³ достатньо буде утримувати: за I варіантом – одну голову ВРХ та хоча б 10 птахів; за II варіантом – п'ять свиней та 20 птахів.

Запропонована БГУ повністю задовольняє поставлені задачі щодо забезпечення енергонезалежності домогосподарства, тому варто було б здійснити розрахунок терміну її окупності (табл. 6.4).

Оцінюючи дані в таблиці 6.4, можна дійти висновку, що термін окупності біогазової установки коливається від 2,6 до 3,8 років. Варто зазначити, що із врахуваннями забезпечення домогосподарства власним

біодобривом немає потреби в купівлі добрив, що, звичайно, становить економію та, відповідно, зменшує термін окупності установки. Біогазові установки – це одночасне вирішення не лише проблем агрохімії та енергетики, але й поліпшення загальної екологічної обстановки та соціальних умов мешканців села [11].

Таблиця 6.4.

Розрахунок терміну окупності біогазової установки в домогосподарстві

Площа / опалювана площа, м ²	Період	Потреба природного газу, м ³ /місяць	Потреба газу, м ³ /рік	Вартість газу (6,95 грн/м ³), грн	Разом витрат за рік, грн	Термін окупності, років
60/40	Опалювальний період (6 міс)	160	960	6672	7506,0	28400/7506,0=3,8
	Міжопалювальний період (6 міс)	20	120	834		
80/50	Опалювальний період (6 міс)	200	1200	8340	9174,0	28400/9174,0=3,1
	Міжопалювальний період (6 міс)	20	120	834		
100/60	Опалювальний період (6 міс)	240	1440	10008	10842,0	28400/10842,0=2,6
	Міжопалювальний період (6 міс)	20	120	834		

Загострення світової економічної кризи, яка не оминула й Україну, зменшення запасів традиційних, природних енергоносіїв, загострення екологічних проблем примушує людство вишукувати альтернативні паливно-енергетичні ресурси. Використання альтернативних видів палива забезпечить розв'язання проблеми залежності від потреб нафтових палив та природного газу. Україна володіє великим запасом нетрадиційних джерел енергії на основі рослинних залишків, а також біологічних відходів тваринництва – це в першу чергу, гній великої рогатої худоби, свиней та птишиного посліду. На сьогодні потенціал їх використання залишається на низькому рівні. Враховуючи постійне зростання цін на природний газ, одним із способів розв'язання даної

проблеми є використання біогазових технологій, суть яких полягає в переробці біологічних відходів в реакторі біогазової установки, в якій відбувається переробка суміші рослинних відходів та гноїв з одержанням горючого біогазу і високоякісних органічних добрив [5].

Крім досягнення домогосподарствами очевидних екологічного та економічного ефекту, вважаємо за доцільне враховувати соціальний ефект, який полягає у покращенні здоров'я населення та розширенні можливостей населення сільських територій щодо забезпечення домогосподарства відповідними благами (рис. 6.2).

Отже, до позитивних сторін впровадження біогазових технологій можна віднести як економіко-екологічні, так і соціальні аспекти: утилізацію відходів тваринництва та рослинництва, знезараження гною, виробництво екологічно чистих органічних добрив, енергозабезпечення сільських територій, зайнятість населення, розвиток тваринництва, економію коштів на газифікацію села.

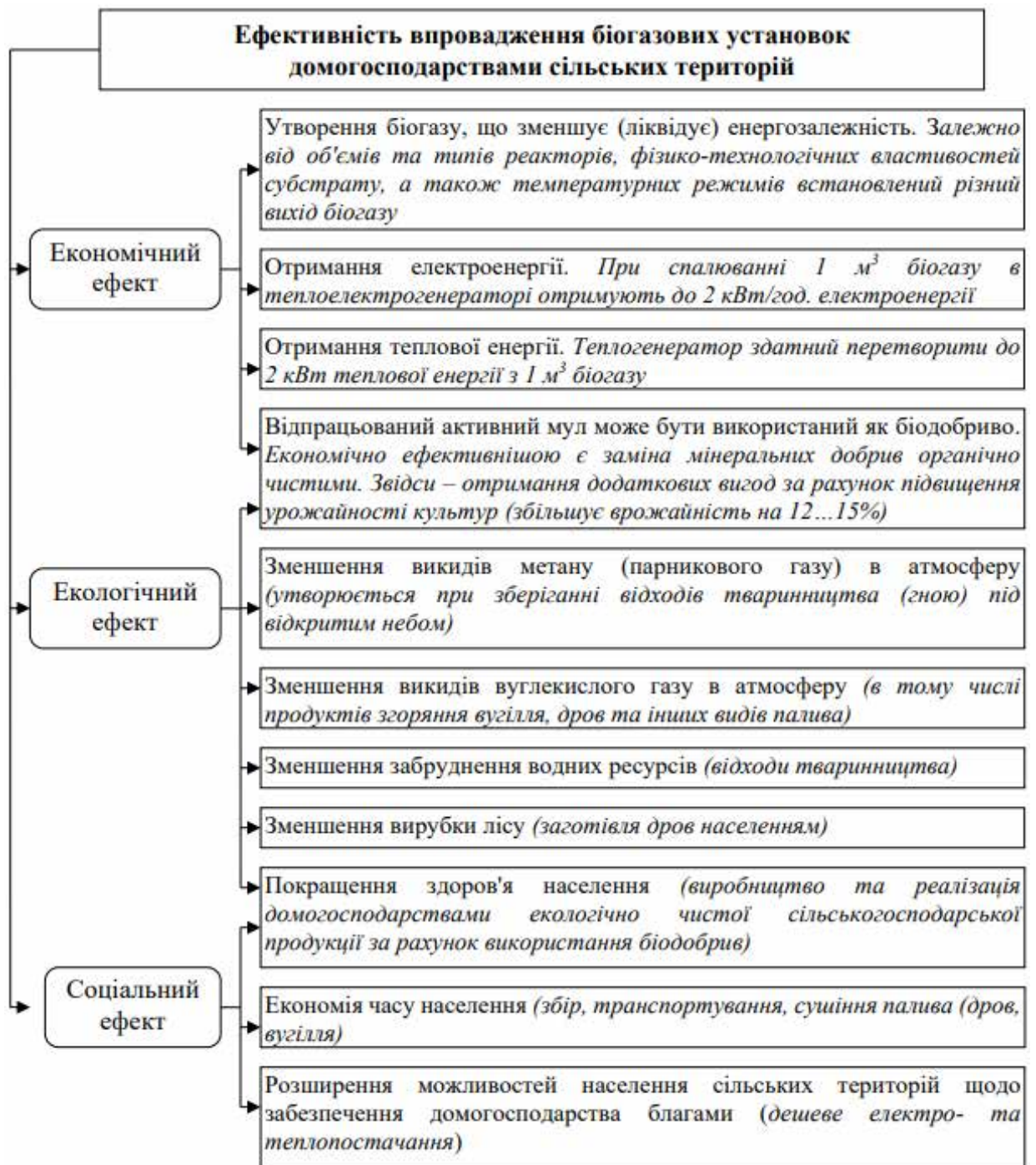


Рис. 6.2. Ефективність впровадження біогазових установок домогосподарствами сільських територій

ВИСНОВКИ

У даній бакалаврській кваліфікаційній 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.

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.

ЛІТЕРАТУРА

1. Баадер Б. Биогаз: Теория и практика. / Баадер Б., Доне Е., Брендерфер М.; Пер. с нем. М. И. Серебрянного – М. : Колос, 1982. – 148 с.
2. Бекер М.Є., Лієпиньш Г.К., Райпуліс Е.П. Біотехнологія. – К.: Вища школа, 1990. – 334 с.
3. Біопалива (Технології, машини і обладнання) / В.О. Дубровін, М.О. Корчемний, І.П. Масло, О. Шептицький, А. Рожковський, З. Пасторек, А. Гжибек, П. Євич, Т. Амон, В.В. Криворучко – К.: ЦТІ "Енергетика і електрифікація", 2004. – 256 с.: іл. 157.
4. Використання нетрадиційних ресурсів у сільському господарстві / Збірник наукових статей і доповідей; за ред. М.Й. Шевчук. – Луцьк: УААН Поліська філія ІГА ім. Соколовського, 1997. – 192 с.
5. Виробництво біогазу в сільському господарстві України / Шацький В.В., Мовсесов Г.Є., Павліченко В.М. // Науковий вісник НАУ. – Вип. 73. – К.: Вид-во НАУ, 2004. – С. 104-108.
6. Від досліджень до ринку / Гелетуша Г., Железна Т., Жовмір М., Матвеев Ю. // Зелена енергетика. – 2007. №2. – С.8-10.
7. Дубровін В.О. Розвиток технологій використання рослинницької продукції на енергетичні потреби в Україні // Аграрна наука і освіта. – 2004. – Т.5, №1-2. – С.86-91.
8. Дубровский В.С., Виестур У.Е. Метановое сбраживание сельскохозяйственных отходов. – Рига: Зинатне, 1988. – 204 с.
9. Корчемний М.О., Федорейко В.С., Щербань В.В. Енергозбереження а агропромислового комплексі. – Тернопіль: Підручники та посібники, 2001. – 984 с.
10. Лисенко В.П., Решетюк В.М., Цигульов І.Т. Основи автоматики: теорія і практика (ч.1). Видання 2-е, перероблене і доповнене. / Лисенко В.П., Решетюк В.М., Цигульов І.Т. – К.: Освіта України, 2013. – 720 с.
11. Лінник М.К. Шляхи енергозбереження у сільському господарстві // Агротехсервіс. – 1996. - №8-9.
12. Малащенко Ю.Р., Хайер Ю., Бергер У., Романовська В.А., Мучник Ф.В. Біологія метанотворних мікроорганізмів. – К.: Наукова думка, 1993. – 256 с.
13. 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.
14. Мельник Р.А., Євдокименко І.І., Бородін В.І., Пузанков А.Г. Дослідження хіміко-технологічних умов інтенсифікації процесу метанового зброджування гною // Дослідження, проектування і будівництво систем споруд метанового зброджування гною. – К., 1992. – С.16-17.
15. Мельничук М.Д., Новак Т.В., Кунах В.А. Біотехнологія рослин. – К.: Поліграф Консалтинг, 2003. – 502 с.

16. Мовесов Г.Є. Стан і перспективи одержання біогазу з відходів тваринництва в Україні // Вісн. аграрної науки. – 1995. - №10.-С.74-78.
17. Нікітін Г.А. Метанове зброджування у біотехнології. – К.: Вища школа, 2000. – 207 с.
18. Огляд сучасного стану виробництва біогазу в Європі / Йенс Бо Гольм Нільсен, Теодоріта Аль Сеаді // Пропозиція. – 2012 р. - №11. – С.80-82.
19. О. Щербина. Енергія для всіх. Технічний довідник. – Ужгород: Видавництво Валерія Падяка, 2000. – С.46-63.
20. Ратушняк Г. С. Інтенсифікація теплообміну та термостабілізація біореакторів / Ратушняк Г. С., Джеджула В. В. // Вісник ВПІ. – 2006. – № 2. – С. 26–31. – ISSN 1997–9266.
21. Семененко І.В. Проектування біогазових установок. – Суми: Мак-Дей: Мрія-1, 2006. – 347 с.
22. Сільськогосподарські біогазові установки: закордонний досвід / В. Клименко // Техніка АПК. – 2006. - №6-7.
23. Технологія використання біомаси у біогазових установках // Т.Амон, Б.Амон, В. Дубровін та ін. // Зб. наук. праць НАУ. – 2003. – №60. С.18.
24. Ткаченко С. Й. Методичні основи моделювання системи термостабілізації реактора біогазової установки / Ткаченко С. Й., Степанов Д. В., Резидент Н. В. // Праці за матер. IV всеукр. наук–техн. конф. «Сучасні технології, матеріали та конструкції в будівництві». – Вінниця. – 2004. – С. 70–79.
25. Шульга В.Г., Коробко В.П., Жовнір М.М. Основні результати та завдання впровадження нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії в Україні // Енергетика і електрифікація. – 2005. - №2. – С.39-42.
26. Biogasanlagen in der Landwirtschaft / aid infodienst Verbraucherschutz Ernährung, Landwirtschaft e.V., 2007. – 52 p.
27. Biogasanlagen richtig füttern. Erzeugung, Lagerung und Verwertung von Energiepflanzen für Biogasanlagen – AGRAVIS Raiffeisen AG, 2006. – 46 p.
28. Daniels L., Sparling R., Sprott CD. The bioenergetics of methanogenesis // Biochim. of biophys. acta. – 1984/ - 768. - №1. – p.113-163.
29. Halgang S. Biofuels in France: What Developments? // World Biofuels (2022, 23-24 April, Seville). 2022 – P.10-14.
30. Studie. Einspeisung von Biogas in das Erdgasnetz / Institut für Energetik und Umwelt GmbH – Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. – Leipzig, 2006. – 199 p.
31. Біогазові установки в Україні. Встановлення та робота біогазових установок. Центр біогазових технологій. (Електронний ресурс). – Режим доступу: http://cba.org.ua/one/images/stories/CBA_news/Innovations_in_CBA/Budivnyctvo_i_ekspl_Biogas_2011.pdf
32. Досвід Швеції з виробництва біогазу // Економічний розвиток громади. – Випуск 1. №6. – 2005 р. (Електронний ресурс). – Режим доступу: www.ced.org.ua/ukr/Visnyk-6.doc

33. Закон України « Про енергозбереження»: Офіц. текст зі змінами станом на 09.02.2006. [Електроний ресурс] – Режим доступу: <http://zakon1.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=74%2F94-%E2%F0>
34. Закон України « Про альтернативні джерела енергії» Офіц. текст станом на 20.02.2003 [Електроний ресурс] – Режим доступу: <http://zakon1.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=555-15>
35. Про розвиток та споживання біологічних видів палива: Закон України від 12.04.2007 р. № 921 – V (Електронний ресурс). – Режим доступу: www.rada.gov.ua
36. Про цільову комплексну програму наукових досліджень НАН України “Біомаса як паливна сировина” (Біопалива): Постанова №56 від 28.02.2007 р.(Електронний ресурс). – Режим доступу: [www.ittf.kiev.ua / biopalyvo56.doc](http://www.ittf.kiev.ua/biopalyvo56.doc)

ДОДАТКИ

Додаток А

Лістинг розрахунків коефіцієнтів математичної моделі температурного режиму БГУ

Вихідні розрахунки для динамічної моделі БГУ:

Температура теплоносія (води) в трубопроводі, град. Цельсія

$t1 := 90$

Температура субстрату, град. Цельсія

$\theta := 15$

Температура зовнішнього середовища, град. Цельсія

$tz := 10$

Коефіцієнт теплопередачі теплообмінника, Вт/(м²*град. Цельсія)

$Kt := 154$

Коефіцієнт теплопередачі стінок біореактора,
у межах (0,8...1,5) Вт/(м²*град. Цельсія)

$Kk := 1.2$

Маса теплоносія в теплообміннику, кг

$Mt := 300$

Маса субстрату в біореакторі, кг

$Ms := 10000$

Питома теплоємність субстрату, Дж/(кг*град. Цельсія)

$Cs := 4200$

Питома теплоємність теплоносія, Дж/(кг*град. Цельсія)

$Ct := 4190$

Продуктивність біореактора, кг/с

$Gc := 0.01$

Витрати теплоносія в теплообміннику, кг/с

$Gt := 0.012$

Площа поверхні теплообміну теплообмінника, м²

$Ft := 3$

Площа поверхні теплообміну стінок біореактора, м²

$Fk := 16$

Тривалість анаеробного бродіння субстрату
при повному завантаженні біореактора, год.

$\tau := 0..200$

$$a1 := \frac{GeCc + 0.5(Kt \cdot Ft + Kk \cdot Fk)}{0.5 Kt \cdot Ft} = 5.88 \times 10^9$$

$$b2 := \frac{Gt \cdot Ct - 0.5 \cdot Kt \cdot Ft}{0.5 \cdot Kt \cdot Ft} = 1.676 \times 10^4$$

$$T1 := \frac{Mc \cdot Cc}{0.5 Kt \cdot Ft} = 1.4 \times 10^{10}$$

$$T2 := \frac{Mt \cdot Ct}{0.5 Kt \cdot Ft} = 4.19 \times 10^8$$

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

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

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

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

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

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

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

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

Додаток Б

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 та групами інших кіл	1780 В
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 комутованому 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	
ЦАП	$\pm 0,5\%$
Розрядність ЦАП	ПЛК160-Х.А – 12 біт ПЛК160-Х.У – 10 біт ПЛК160-Х.И – 10 біт
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, 128 кб для змінних користувальницької програми

Об'єм енергонезалежної пам'яті	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 В

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