

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ ТРИПРОДОКОРИСТУВАННЯ
УКРАЇНИ
ННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

УДК 602.1: 621.927

ПОГОДЖЕНО ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Директор ННІ енергетики, автоматика і енергозбереження
Завідувач кафедри автоматика та робототехнічних систем
ім. акад. І. І. Мартиненка
В. В. Каплун В. П. Лисенко

” ” 2023 р. ” ” 2023 р.
КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

02.06.- КМР.323"С".23.03.06.022.ПЗ

на тему: «ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ МЕТАНТЕНКІВ В
СКЛАДІ КОМУНАЛЬНО ПОБУТОВИХ СПОРУД НА
БОРТНИЦЬКІЙ СТАНЦІЇ АЕРАЦІЇ»

Спеціальність: 151– «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Магістерська програма: Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Гарант освітньої програми _____ І.М. Болбот, д.т.н., професор
(підпис)

Виконав _____ В.М. Лесюк
(підпис)

Керівники магістерської роботи _____ В.В. Коваль, д.т.н., професор
(підпис)

КИЇВ – 2023

НУБІП України

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри автоматики та
робототехнічних систем

ім. акад. І. І. Мартиненка
проф. д.т.н. В. П. Лисенко

2023 р.

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ

Лесюку Вадиму Михайловичу

(прізвище, ім'я, по-батькові)

Спеціальність: 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Магістерська програма: Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Програма підготовки: Освітньо-професійна

Тема магістерської роботи: Дослідження та автоматизація метантенків в складі
комунально-побутових споруд на Бортницькій станції аерації

Затверджена наказом ректора НУБіП України від «06» 03 2023 р. № 323 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру «05» 11 2023 р.

Вихідні дані до магістерської роботи: Завдання кафедри на виконання кваліфікаційної
магістерської роботи. Нормативні документи по проектуванню об'єктів автоматизації.
Матеріали дослідження і аналізу. Наукова література з тематики кваліфікаційної
магістерської роботи.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Аналіз технологічних характеристик виробничого об'єкта.
2. Моделювання та дослідження технологічного процесу.
3. Вибір регулятора та обґрунтування параметрів його налаштування.
4. Дослідження системи автоматизації.
5. Схеми системи автоматизації.
6. Оцінка економічної ефективності САК
7. Техніка безпеки та охорона праці.

Перелік графічного матеріалу: Графічна презентація

Дата видачі завдання

«06» 03 2023 р.

Керівники магістерської роботи

Завдання прийняв до виконання

Коваль В.В.

(підпис)

Лесюк В.М.

АНОТАЦІЯ

У кваліфікаційній магістерській роботі розглядається процес підтримки температури субстрату в біореакторі з використанням трубного обігріву на предмет визначення енергоефективних технологічних режимів підігріву, технічних параметрів системи підігріву.

Метою кваліфікаційної магістерської роботи є удосконалення системи автоматичного керування температурою субстрату в біореакторі із використанням комплексу технічних засобів Schneider Electric, що забезпечить зниження енерговитрат на його створення та зменшить витрати палива на підтримання необхідного рівня температури субстрату в біореакторі, шляхом застосування удосконаленої комп'ютерно-інтегрованої системи керування.

У роботі використовуються наступні задачі:

- побудовано математичну модель досліджуємого об'єкту та проведено імітаційне моделювання;

- отримано передатну функцію об'єкту керування;
- обрано сприймаючі елементи, виконавчий механізм та регулюючий орган розроблюваної САК субстрату в біореакторі;

- розроблено алгоритм роботи системи та обрано програмне забезпечення;

- досліджено отриману САК субстрату в біореакторі на стійкість та отримані показники якості, які задовольняють вимогам до розроблюваної САК;

- розроблено схеми підключень (з'єднань) засобів КВПіА та технологічного обладнання;

- обраховано доцільність монтажу системи автоматизації.

НУБІП України

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	8
1.1. <i>Аналіз технологій для очистки стічних вод.</i>	8
1.1.1. Технологія електрокоагуляції-флотації.....	9
1.1.2. Анаеробно-аеробна технологія очищення.....	11
1.2. <i>Аналіз технології очищення стічних вод на Бортиницькій станції аерації</i>	13
1.3. <i>Аналіз технологічного процесу та режимів роботи метантенків</i>	18
РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ МЕТАНТЕНКІВ.	21
2.1. <i>Інформаційний аналіз процесу вироблення біогазу в метантенках.</i>	21
2.2. <i>Моделювання динаміки біореактора, як об'єктів керування.</i>	22
2.3. <i>Визначення передатної функції об'єкта керування.</i>	31
РОЗДІЛ 3 ВИБІР РЕГУЛЯТОРА ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЙОГО НАЛАШТУВАНЬ	34
3.1. <i>Вибір регулятора</i>	35
3.2. <i>Вибір сприймаючих елементів системи автоматичного керування температурою субстрату в біореакторі</i>	38
3.3. <i>Вибір виконавчих механізмів системи автоматичного керування температурою субстрату в біореакторі</i>	41
3.4. <i>Вибір алгоритму управління та розробки функціональної та структурної схеми САК</i>	50
РОЗДІЛ 4 ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ	52

РОЗДІЛ 5. СХЕМИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ..... 58

НУБІП України	
5.1. Розробка схем погодження між зовнішніми пристроями та програмованим логічним контролером.....	58

5.2. Розробка принципової схеми.....	63
--------------------------------------	----

НУБІП України	
5.3. Розробка схеми з'єднань.....	67
5.4. Розробка схеми підключень.....	69

5.5. Вибір апаратури захисту та керування.....	72
--	----

5.6. Розрахунок надійності системи автоматичного керування.....	77
---	----

НУБІП України	
5.7. Розробка комп'ютерно-інтегрованої системи керування температурою субстрату в біореакторі.....	78

РОЗДІЛ 6. КОШТОРИСНІ РОЗРАХУНКИ 80

НУБІП України	
РОЗДІЛ 7. ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ..... 82	
ВИСНОВКИ..... 85	

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 86

НУБІП України	
ДОДАТОК А..... 88	

НУБІП України	
----------------------	--

НУБІП України	
----------------------	--

ВСТУП

НУБІП України

Актуальність теми. Кількість стічних вод постійно зростає в зв'язку

з прискоренням урбанізації. У більшості країн світу біогазові технології стали стандартом переробки біо-відходів з метою отримання додаткових сировинних і енергетичних ресурсів.

НУБІП України

Головною причиною обмеженого застосування біогазових технологій в Україні є великі енерговитрати на технологічні потреби обладнання, при цьому слід зазначити, що основні енергетичні втрати виникають у метантенку.

НУБІП України

Інтенсифікація процесу метанового бродіння може здійснюватися мікробіологічними або конструктивно-технологічними методами. Підтримка сталої температури субстрату та перемішування є ключовим способом

підвищення ефективності роботи біогазової установки. Згідно з біотехнологічними вимогами, підтримка оптимальної температури субстрату та його перемішування в метантенку збільшує вихід біогазу на 50%.

НУБІП України

Результати експериментальних досліджень промислових апаратів метанового бродіння показали, що недостатнє перемішування при цьому знижує ефективний об'єм метантенка на 70 % і є основною причиною відмови обладнання.

НУБІП України

Застосування системи підігріву субстрату з одночасним перемішуванням дає змогу підтримувати найбільш сприятливі гідродинамічні та температурні умови для життєдіяльності метапогенної спільноти бактерій

протягом усього технологічного процесу.

НУБІП України

У зв'язку з цим, виникає завдання розроблення системи для підтримки температури та перемішування, орієнтованої на вдосконалення технологічного процесу з позицій енерго- та ресурсозбереження.

У літературі вкрай мало математичних моделей процесів тепло- та масопереносу в метантенках, що пояснюється малою вивченістю фізичних аспектів процесів виробництва біогазу та складністю моделювання. Крім того, оцінка якості процесу підтримки температури субстрату на підставі цих

НУБІП України

моделей ускладнена. З цього випливає необхідність розроблення математичної моделі процесів тепло- та масопереносу в метантенках із системою гідравлічного перемішування.

Об'єктом дослідження є процес виробництва метану шляхом підтримування необхідної температури субстрату.

Предметом досліджень є взаємозв'язки і закономірності режимів функціонування біореактора та їх вплив на ефективність виробництва метану.

Мета і задачі досліджень. Мета роботи полягає у підвищенні продуктивності роботи біореактора та якості вихідної продукції шляхом вдосконалення технологічного процесу, зокрема покращення температурного режиму субстрату.

Для досягнення цієї мети сформульовані такі **задачі**:

- дослідження особливостей сучасних систем автоматизації процесів керування температурним режимом субстрату в біореакторах;

- розробка функціональної схеми системи керування температурою субстрату в біореакторі та алгоритму її роботи;

- розробка і дослідження імітаційної моделі об'єкта автоматизації із використанням програмного пакету MatLAB;

- обґрунтування вибору алгоритму керування, комплексу технічних засобів автоматизації, визначення показників якості роботи системи керування;

- розробка схем системи автоматизації та системи дистанційного керування та контролю виробництва метану в біореакторах на основі СКАДА Trace Mode.

РОЗДІЛ 1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

НУБІП України

1.1. Аналіз технологій для очистки стічних вод.

Біологічне очищення стічних вод застосовується досить часто, це пояснюється особливостями складу стічних вод та економічною доцільністю їх застосування. Фізико-хімічні методи очищення застосовуються тільки у разі дефіциту земельних ділянок, у складних кліматичних умовах або задля попереднього очищення [1].

Скидання стічних вод у водойму без попереднього очищення зумовлює шкідливий вплив та зміщення біологічної рівноваги водойм. Внаслідок потрапляння органічних сполук зі стічними водами, починається біохімічний процес окиснення, з води поглинається велика кількість розчиненого кисню, в результаті чого можуть виникнути анаеробні процеси, що призведуть до масової загибелі риби.

При надходженні таких стоків на споруди біологічного очищення спостерігається загибель активного мулу в аеротенках, порушення режиму аеробного процесу, який потрібно відновлювати з новим мулом [2].

Стічні води зазвичай проходять очистку в три ступені: механічну, біологічну (біохімічну) і хімічну (дезінфекція).

За допомогою механічного очищення із стічних вод видаляють нерозчинні і спливаючі забруднення, які після відповідної обробки можуть бути утилізовані. Для механічного очищення застосовують решітки, пісколовки, відстійники, масловловлювачі, жироловки.

Жир виділяється з стічних вод різними способами відстоюванням (спливанням), флотацією за допомогою повітря (аерування), напірної флотацією (штучне насичення води повітрям), електрофлотацією, сепаруванням. У процесі біологічного очищення стічні води очищають від

органічних домішок, що знаходяться в підвішеному, в розчиненому колоїдному стані. [3].

1.1.1. Технологія електрокоагуляції-флотації.

Технологія реагентної електрокоагуляції-флотації дозволяє ефективно видаляти зі стічної води тонкодисперсні завислі речовини, емульговані жири, колоїдні частинки, за допомогою присутніх у воді синтетичних поверхнево-активних речовин (СПАР). В процесі роботи електролізера на поверхні анодних пластин спостерігається накопичення желеподібного осаду, який легко видаляється навіть у процесі динамічної дії водного потоку. Після видалення осаду на поверхні анодних пластин утворюється велика кількість дрібних заглиблень, в окремих місцях менш покритих осадом (в місцях активного процесу окиснення аноду), з'являлись глибокі пошкодження металу [2].

При застосуванні методу електрокоагуляції для очистки стічних вод, після неї рекомендується обирати відстоювання або електрофлотація (рис. 1.1). Даний методу рентабельний для локальної очистки стічних вод при необхідному зниженні концентрації жирів до 25 мг/дм^3 , завислих речовин – 50 мг/дм^3 , БСК_{пов} до $500 \dots 1000 \text{ мг/дм}^3$, органічних речовин за ХСК -80-86% при початкових ХСК= $1200 \dots 1500 \text{ мг/дм}^3$ [4].

Забруднені стічні води в першу чергу надходять на механічне очищення та усереднювач (3), після чого вони направляються в електрокоагулятор-флотатор (5), в нижній частині якого знаходиться електрохімічна камера (9), а над нею – камера флотації. Така будова споруди забезпечує висхідний потік електроліту через електродну систему з переходом іонів металу аноду в рідину і утворенням гідроксиду металу, який коагулює частинки домішок, а газ, що виділяється на електродах, флотує утворені агрегати [5].

Такі процеси даної технології супроводжуються підвищенням електричного опору, а також підвищенням витрат електроенергії. Зменшити

дані витрати дозволяє змішування з електролітом, що містить електрогенерований коагулянт після обробки в електродній камері, а потім вже введення стічних вод в установку електрокоагуляції-флотації. В якості електроліту використовують очищену від домішок воду з додаванням хлориду натрію з концентрацією $100 \dots 300 \text{ мг/дм}^3$ для зменшення пасивації електродів і збільшення електропровідності розчину. Попереднє очищення стічних вод за даною технологією дозволяє ефективно очистити стічну воду від завислих і колоїдних частинок, здійснити деструкцію високомолекулярних органічних речовин до більш простих сполук, що легко розкладаються під час подальшого біологічного очищення.

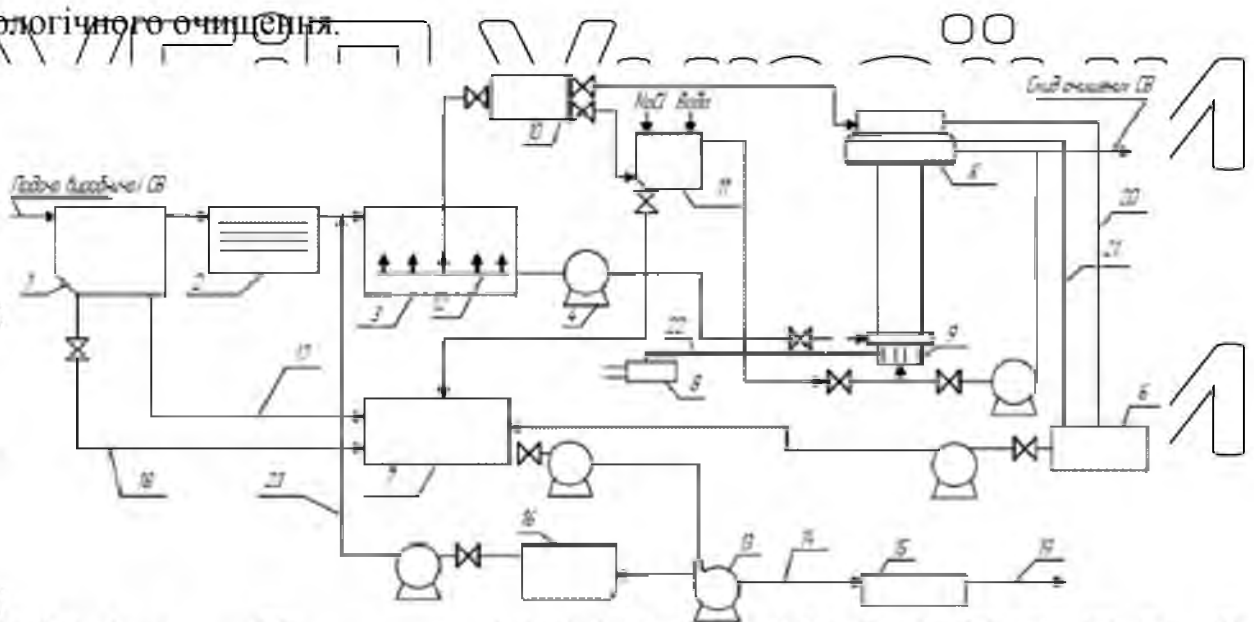


Рисунок 1.1 – Технологічна схема очищення стічних вод за допомогою електрокоагуляції-флотації. 1 – жироловка, 2 – решітки-дросбарки,

3 – усереднювач, 4 – машинне відділення насосної станції,

5 – електрокоагулятор-флотатор, 6 – піногасник, 7 – резервуар осаду,

8 – випрямляч постійного струму, 9 – електрохімічна камера,

10 – повітродувна станція, 11 – реагентне господарство,

12 – подача повітря в усереднювач, 13 – вакуум фільтр, 14 – зневоднений осад,

15 – резервуар кеку, 16 – резервуар-накопичувач мулової води,

17 – відведення жиромаси, 18 – подача осаду з жироловки,

19 – кек на вивезення, 20 – відведення пінного продукту, 21 – подача шламу,

22 – скид осаду з реагентного господарства, 23 – подача мулової води

Недоліком цієї технології є велика кількість осадів, що містять легкоокиснювальну органіку із сполуками металу (коагулянту), які потім потрібно знешкодити та утилізувати. Також ця технологія потребує підвищення витрат на електроенергію. Ефективність методу електрокоагуляції-флотації досить велика, можливо досягти 90 % видалення жирових частинок із стічних вод [2].

1.1.2. Анаеробно-аеробна технологія очищення.

Аеробне очищення забезпечує високий ступінь очищення стічних вод, які характеризується невисоким (до 2000 мг/дм³) значенням ХСК [6].

При біологічному очищенні відбувається деструкція білків, жирів, вуглеводів, ЦАР, та інших сполук бактеріями, що знаходяться як в іммобілізованому, так і у вільноплаваючому стані в аеробних умовах, однак для розвитку мікроорганізмів мають бути створені оптимальні умови. В цьому напрямку найбільш перспективними є аеротенки, що працюють з високими дозами активного мулу і чистим киснем. Особливістю аеробних методів очищення є забезпечення водних біоценозів киснем для окислення забруднень що містяться у воді з отриманням вуглекислого газу, мінеральних сполук і біомаси.

Завдяки новітній розробкам і технології подачі окисника в аеробних реакторах створюються зони бідні киснем і зони збагачені киснем. Завдяки цьому одночасно протікають аноксидаційні реакції, потрібні для накопичення мікрофлори і оксидаційні процеси, що дозволяють знизити ХСК і БСК [7].

До переваг аеробного методу можна віднести можливість роботи за низьких концентрацій забруднень БСК в стічних водах, зниження вмісту сполук азоту та фосфору, порівняно невеликі інвестиційні витрати [8].

Незважаючи на всі позитивні якості даного методу, аеробна біологічна очистка має ряд істотних недоліків, зв'язаних з великими витратами на аерацію і утилізацію надлишку активного мулу.

Економічно-ефективним і екологічно прийнятним рішенням існуючої проблеми може служити комбінована анаеробно-аеробна технологія очищення концентрованих стічних вод. Застосування анаеробно-аеробних методів очищення стічних вод найбільш ефективно, так як, використовуючи тільки анаеробну стадію очищення, неможливо досягти жорстких нормативів як при скиданні очищених стічних вод на міські очисні споруди, так і в поверхневий водойму (рис. 1.2). В цьому випадку анаеробний метод очищення застосовується як перша ступінь біологічної очиски, а в якості доочистки використовуються одна або дві стадії аеробного очищення [7].

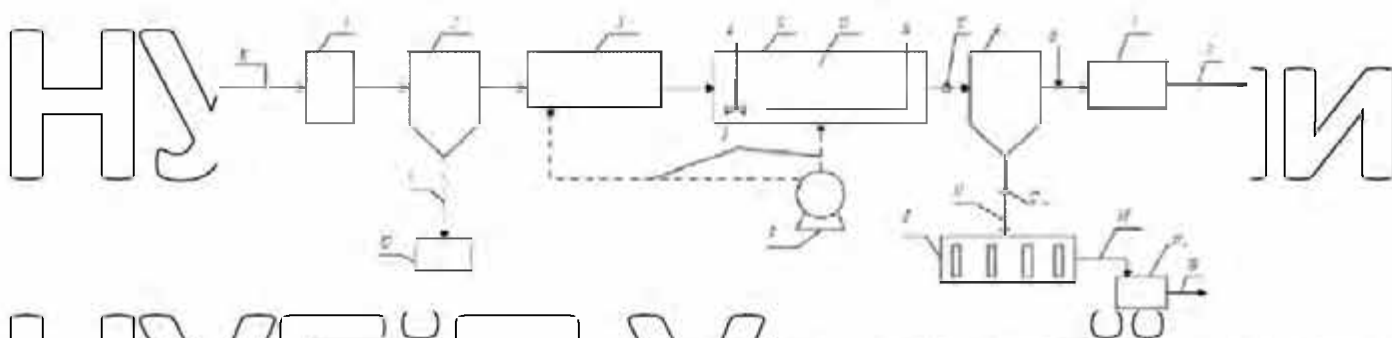


Рисунок 1.2 – Очищення стічних вод за допомогою анаеробно-аеробної технології [9]: 1 – решітка, 2 – пісковловлювач, 3 – усереднювач, 4 – мішалка з двигуном у анаеробній зоні аеротенка, 5 – аеротенк, 6 – вторинний відстійник, 7 – контактний резервуар, 8 – фільтр-прес, 9 – повітродувна станція, 10 – піскові майданчики, 11 – майданчики для зневоднення осаду, 12 – насосна станція, 13 – волокнистий носій, 14 – система аерації, яка встановлена поперечно до руху стічних вод у аеробній зоні аеротенка, 15 – зневоднений осад на вивезення, I – піщанна пульпа, II – повітря, III – подача гіпохлориту натрію, IV – подача стічних вод на очищення, V – очищена стічна вода, VI – осад, VII – зневоднений осад

Спершу виконується механічне очищення, що представляє собою решітки (1), пісковловлювач (2) та усереднювач (3). Аеротенк (5) обладнаний механічними мішалками (4) та системою аерації (14), що потрібно потрібно влаштувати перпендикулярно руху стічної води та паралельно до касет з

волокнистим носієм (13). Після цього вода поступає на вторинні відстійники (6), осад з якого виноситься насосами (12) на фільтр-преси (8). Зневоднений осад (зек вологістю 55...65 %) направляють на майданчики (11). Стічні води після біологічного очищення направляються на знезараження, після чого скидаються у водойму.

Переваги комбінованої технології в порівнянні традиційної аеробного очищення полягає в наступному: висока ступінь очищення стічних вод з високими концентраціями органічних забруднень, невеликий приріст надлишкової біомаси в 5-10 разів менше, ніж при аеробному очищенні (біомаса стабільна, не загниває при зберіганні), стійкість до тривалих перерв в подачі стічних вод, низькі експлуатаційні витрати. Основним недоліком даної технології є високі капіталовкладення.

1.2. Аналіз технології очищення стічних вод на Бортницькій станції аерації.

Стічні води міста Києва та приміської зони через систему каналізаційних мереж і комплекс каналізаційних насосних станцій надходять до Бортницької станції аерації, де проходять механічну та повну біологічну очистку. Зворотні води по магістральному каналу надходять через розсіюючий випуск у р. Дніпро нижче м. Києва. На цей час система каналізації м. Києва має 2500 км каналізаційних мереж і колекторів, 33 каналізаційні насосні станції різних рівнів значення, від районного до міського та Бортницьку станцію аерації.

Бортницька станція аерації (БСА) – складний комплекс інженерних споруд, обладнання та комунікацій, призначений для повної біологічної очистки стічних вод та обробки затриманих забруднень (рис. 1.3).

БСА було введено в дію у 1965 р. Після закінчення будівництва 3-ої черги (1992 рік) потужність станції досягла 1800 тис. м³ на добу. Надходження стічних вод на станцію складає близько 1300 тис. м³ на добу. Усього за рік на спорудах БСА очищається 470 млн. м³ стічних вод.



Рисунок 1.3 – Загальний вигляд Борзняцької станції аерації

Технологічний процес очистки стічних вод складається з механічного і біологічного очищення (рис. 1.4). При механічному очищенні застосовуються:

- решітки з механічними граблями;
- пісколовки;
- ервинні відстійники.

Комплекс біологічної очистки стічних вод складається з:

- аеротеннів, в яких відбувається біологічне окислення розчинених у воді органічних речовин активним мулом;
- вторинних відстійників, в яких відбувається механічне розділення активного мулу та очищеної стічної води.

Біологічно очищена стічна вода скидається в магістральний канал і далі у р. Дніпро нижче м. Києва.

Забруднення, затримані при очищенні стічних вод, видаляються такими способами:

- пісок, затриманий у пісколовках, гідроелеваторами видаляється на піскові майданчики, де зневоднюється, а пістім вивозиться засобами механізації;

сирій осад і жироплаваючі речовини з первинних відстійників видаляється в метантенки для зброджування в термофільних умовах з наступним зневодненням на центрифесах або перекачуються на мулові поля;

– надлишковий активний мул із вторинних відстійників видаляється на обробку в аеробних стабілізаторах; стабілізований активний мул ущільнюється в мулоущільнювачах, а потім перекачується на мулові поля для зневоднення.

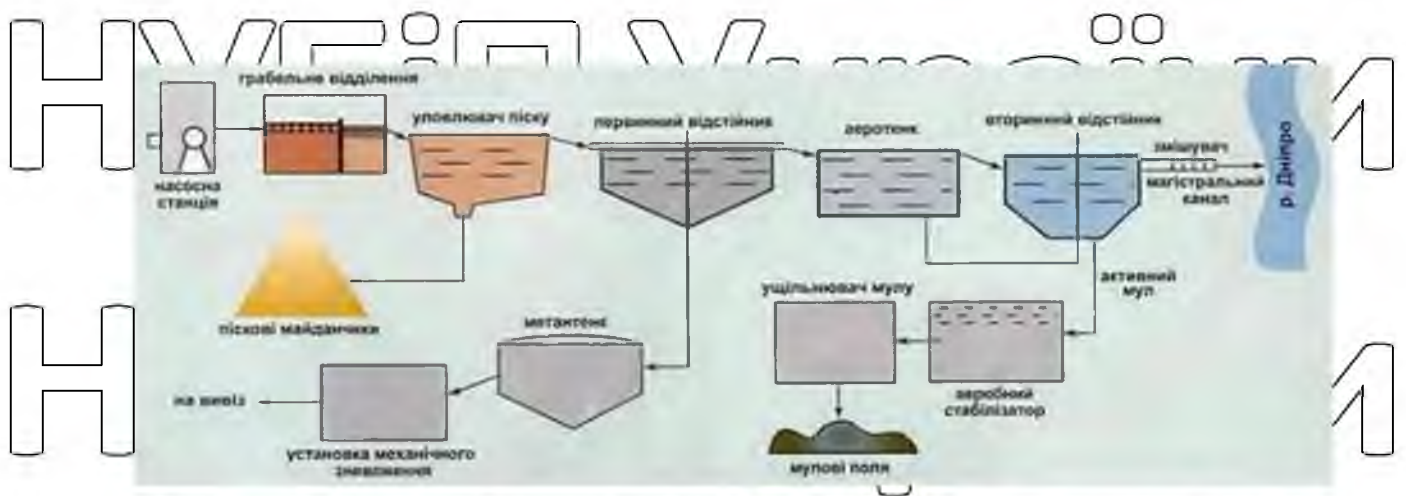


Рисунок 1.4 – Схема очистки стічних вод Бортицькою станцією аерації

Мулові поля площею 272 га, розташовані на відстані 8-15 км від Бортицької станції аерації, служать для зневоднення та сміття осадів у природних умовах. Зараз проводяться пошукові роботи з переробки осадів БСА на корисні речовини з подальшим їх використанням.

Активний мул – кінцева стадія переробки побутових стічних вод з допомогою біотехнічних методів, в основу яких покладені аеробні і анаеробні процеси біологічного очищення.

Сирі осад стічних вод мають не високу концентрацію твердих компонентів. Один із способів їх ущільнення і обезвожування – відстоювання. Також застосовують хімічні коагулянти. Як правило, це неорганічні солі, вапно, органічні полімери. Концентрування мулу відбувається у спеціальних

відстійниках – аеротенках – на протязі 24 годин, після чого видаляється основна частина надмулової рідини. Частинки активного мулу являють собою суміш бактерій і найпростіших.

Анаеробне бродіння мулу використовується для зменшення його маси, а також зниження кількості патогенної мікрофлори. При цьому використовуються процеси, в яких мікроорганізми не мають доступу до вільного кисню

Анаеробне процеси відбуваються в септиках та метантенках (рис. 1.5), де відбувається бродіння органічних компонентів активного мулу. Пізніше, на кінцевій стадії утилізації на мулових полях, де значні маси мулу перебувають в умовах звалювання без доступу повітря, анаеробні процеси посилюються. В процесі бродіння складні органічні молекули під дією бактерій розкладаються на простіші, переважно леткі жирні кислоти. В свою чергу іде подальший процес розкладання кислот до метану CO_2 "метаноутворюючими" бактеріями.



Рисунок 1.5 – Метантенник на Бортницькій станції аерації

Продуктами анаеробного бродіння найчастіше виступають:

1) органічні кислоти: оцтова, масляна, капронова, мурашина, молочна, янтарна, мамонтова,

2) спирти і кетони (альдегіди): метанол, етанол, ізопропанол, гліцерин, ацетон, формальдегід;

3) гази: водень, метан, вуглекислий газ.

Зброджений осад та ущільнений стабілізований мул перекачується на мулові майданчики (мулові поля) для подальшого сушіння в природних умовах. Загальний об'єм осадів, що перекачується на мулові поля, складає 12000 м³ цілодобово з вологістю 97...98 %.

Внесення мулів на поля, обмежується наявністю в них важких металів та інших токсичних речовин. Важкі метали виявляють токсичну дію на мікрофлору, здатні передаватися через ланцюги живлення в організм тварин і людей.

Перспективна технологія переробки відходів за допомогою метанобактерій для переробки мулу. Ці мікроорганізми активно розмножуються у будь-яких органічних рештках, продукуючи в результаті своєї життєдіяльності цінну енергетичну сировину біогаз (суміш метану й чадного газу). На Бортицькій станції аерації вже успішно працює установка по виробництву біогазу з мулових відходів.

Фахівці ВАТ «АК» Київводоканал» вважають, що для утилізації мулу, необхідно терміново впроваджувати технології, що дозволять значно скоротити об'єми осадів та отримати осад, придатний для подальшої утилізації. При цьому найбільш прийнятним варіантом є той, що в кінцевому рахунку дозволяє отримати найменші обсяги осаду. Найбільш оптимальним шляхом, за висновками спеціалістів, є впровадження технологічної лінії механічного зневоднення, подальшого спалювання зневодненого осаду та утилізації отриманого попелу. При впровадженні такого технологічного комплексу загальні обсяги осадів зменшаться майже у 100 разів, а остаточної попіл може бути використаний при виробництві цементу, в шляховому будівництві, отриманні фосфорних добрив тощо.

1.3. Аналіз технологічного процесу та режимів роботи метантенків.

Метанове зброджування – це процес розпаду органічних сполук до простих речовин, в результаті якого виділяється газ. Жири і білки в основному розкладаються з високим виділенням метану, а вуглеводи – з виділенням вуглекислого газу. Суміш цих газів – це біогаз. Процес розкладання відбувається в результаті життєдіяльності анаеробних мікроорганізмів.

Зброджування прийнято ділити на наступні стадії:

- Ферментативний гідроліз.
- Кислотооброзовання.

Ацетогенная.

Метаногенная.

Можливо три режими роботи метантенків: психрофільні – при температурі до 20 °С; мезофільні – при температурі 33 °С; термофільний – при температурі 53 °С. Вибір температури визначається умовами роботи метантенка: техніко-економічними, санітарно-гігієнічними, природоохоронними з урахуванням забезпечення повного циклу зброджування. Слід також звернути увагу на хімічний склад осаду і його обсяг.

Є й інші чинники, що впливають на ефект зброджування:

1. Важкі метали (кобальт, мідь, нікель), а також хром і сірчисті з'єднання надають інгібіруючі дію на процес анаеробного зброджування.
2. Перемішування завантаження метантенка проводиться для того щоб: запобігти утворенню мертвих зон, розшарування осаду, утворення кірки, відкладення піску, а також з метою ефективного використання всього обсягу метантенка, вирівнювання температури і концентрацій метаболітів (проміжних субстратів).
3. Перемішування здійснюється механічними мішалками або за допомогою циркуляції осаду і рециркуляції газу (більш ефективний спосіб, однак на практиці прімяється рідко).

Однак інтенсивність перемішування має межу: якщо вона буде занадто висока то, деякі групи бактерій можуть втратити зв'язок, спорідненість з

певною частиною субстрату. У свою чергу неінтенсивне перемішування веде до зменшення утворення біогазу.

Існують дві технологічні схеми зброджування (роботи біореакторів): одноступенева (нізконагружаєміє метантенки); двоступенева (іноді називається багатоступеневою) – в цьому випадку в якості першого ступеня встановлюється метантенка, що працює в мезофільному режимі, а в якості другої – відкритий (на ньому здійснюється зневоднення і ущільнення осаду). Перевагами такої схеми є: відсутність розшарування осаду та відділення мулової води.

Виділяють наступні можливі конструкції метантенков:

- з куполообразним перекриттям (жорстким),
- з плаваючим перекриттям,
- відкриті.

Незалежно від конструкції схема метантенка включатиме в себе:

- резервуар, круглий або прямокутний в плані, з конічним днищем;
- перекриття;
- ковпак - розташовується над перекриттям в якому збирається і згодом видаляється газ;
- системи перемішування;
- системи обігріву;
- системи відведення та скиду біогазу;
- системи подачі і виведення осаду;
- системи рециркуляції і відведення мулової води.

Зони метантенка прийнято ділити на зону ущільнення і зону зброджування. Для автоматизації метантенка встановлюються прилади контролю: Прилад, що визначає загазованість повітря. Прилад, який контролює температуру. Діафрагма, що вимірює витрату отриманого газу. рН-метр. Прилад, що вимірює тиск, найчастіше манометри з мембранними роздільниками. Прилад, що вимірює витрату осаду, частіше ультразвукові витратоміри. Прилад, що вимірює рівень осаду.

Інтенсифікація роботи метантенка ведеться в двох напрямленнях:
 Удосконалення конструкції (частіше з метою поєднання всіх стадій зброджування в одній споруді). Дослідження і створення умов, найбільш сприятливих для мікроорганізмів, що беруть участь в процесі анаеробної стабілізації.

Для розробки функціональної схеми автоматизації необхідно автоматизувати наступні системи:

- система автоматичного керування приводом гідроелеватора;
- система автоматичного керування приводом перемішувача;
- система автоматичного регулювання температури активного мулу з регулюючою дією на клапаном паропроводу;
- автоматичне позиційне регулювання температури в приміщенні щитової з використанням електрокалориферного обігріву;
- автоматичне керування електротехнічним обладнанням вентиляційної витяжної установа з використанням сигналізатора метану;
- автоматичне дистанційне вимірювання витрати активного і сірого мулу;
- автоматичне дистанційне вимірювання тиску гарячої пари;
- автоматичне дистанційне по-зонне вимірювання температури мулу в метантенку з використанням три-точкового вимірювача;
- автоматичне дистанційне вимірювання тиску повітря в ресивері і тиску на вході змішувача;
- автоматичне дистанційне вимірювання тиску і витрати метану в газгольдері.

РОЗДІЛ 2.

ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ
МЕТАНТЕНКІВ.

2.1. Інформаційний аналіз процесу вироблення біогазу в метантенках.

Показником ефективності процесу вироблення біогазу в метантенках є підтримання температури субстрату в біореакторі яка визначається нормативними документами (стандартами), як оптимальна для відповідних бактерій, складу сировини та часу завантаження. Використовуючи загальний опис процесу вироблення біогазу в метантенках, який розглянули в попередньому розділі, побудуємо інформаційну схему цього технологічного процесу (рис. 2.1).

Основними вхідними параметрами є температура, вологість та склад сировини в біореакторі, від них залежить якість та кількість метану. Основним вихідним параметром є температура сировини в зоні перемішування. Збуреннями в даній системі є: температура зовнішнього повітря, швидкість зовнішнього повітря, вентилявання, зростання бактерій яке призводить до підвищення їх температури та вологості повітря.

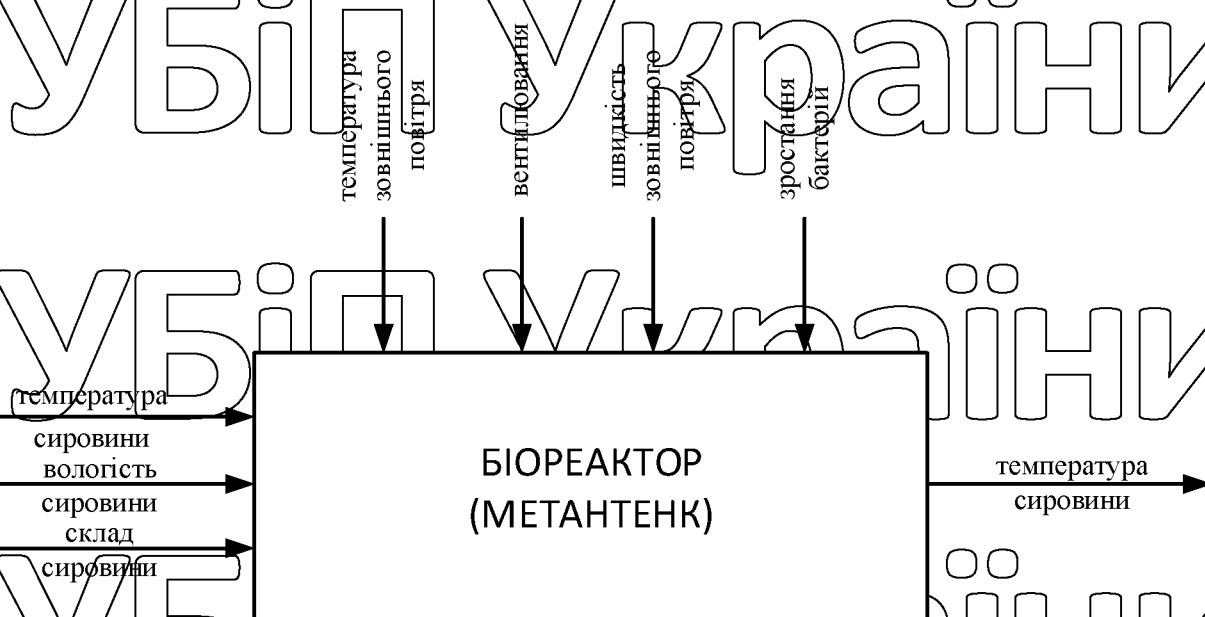


Рисунок 2.1 – Схема інформаційних потоків в біореакторах (метантенках)

2.2. Моделювання динаміки біореактора, як об'єктів керування.

Для вибору способу керування і синтезу автоматичної системи керування необхідно знати динамічні характеристики об'єкта автоматизації, які можна визначити шляхом математичного моделювання на стадії проектування нової або при експлуатації існуючої біогазової установки [11].

Незважаючи на велике різноманіття конструкцій біореакторів, усі вони можуть бути представлені узагальненою конструктивно-технологічною схемою (рис. 2.2). Об'єкт моделювання складається з таких елементів які можна представити тепло-акумуючими ємностями: корпус, теплообмінна труба, субстрат, теплоносій (в об'ємі теплообмінної труби), теплоємність завантажувального і вивантажувального пристроїв не враховуємо.

При виводі диференціальних рівнянь теплових процесів зробимо такі припущення:

- субстрат ефективно переміщується і в поперечному перетині реактора має однакову температуру, а її зміна відбувається тільки в напрямку руху (одномірне температурне поле);
- теплофізичні параметри теплоносія, субстрату і елементів конструкції від температури не залежать і дорівнюють середнім значенням за процес;
- коефіцієнти теплообмінні і теплопередачі розраховані для сталого режиму.

Для температурних режимів біореактора використовується розрахункова схема теплових потоків (рис. 2.3). Біореактор розглядається як система чотирьох теплових ємностей, між якими відбувається теплообмін і які взаємодіють із зовнішнім джерелом теплоти (на схемі не показано) яке характеризується величиною ентальпії теплоносія $J_1 = G_1 c_1 t_1$, що подається в реактор через теплообмінну поверхню (спірального теплообмінника).

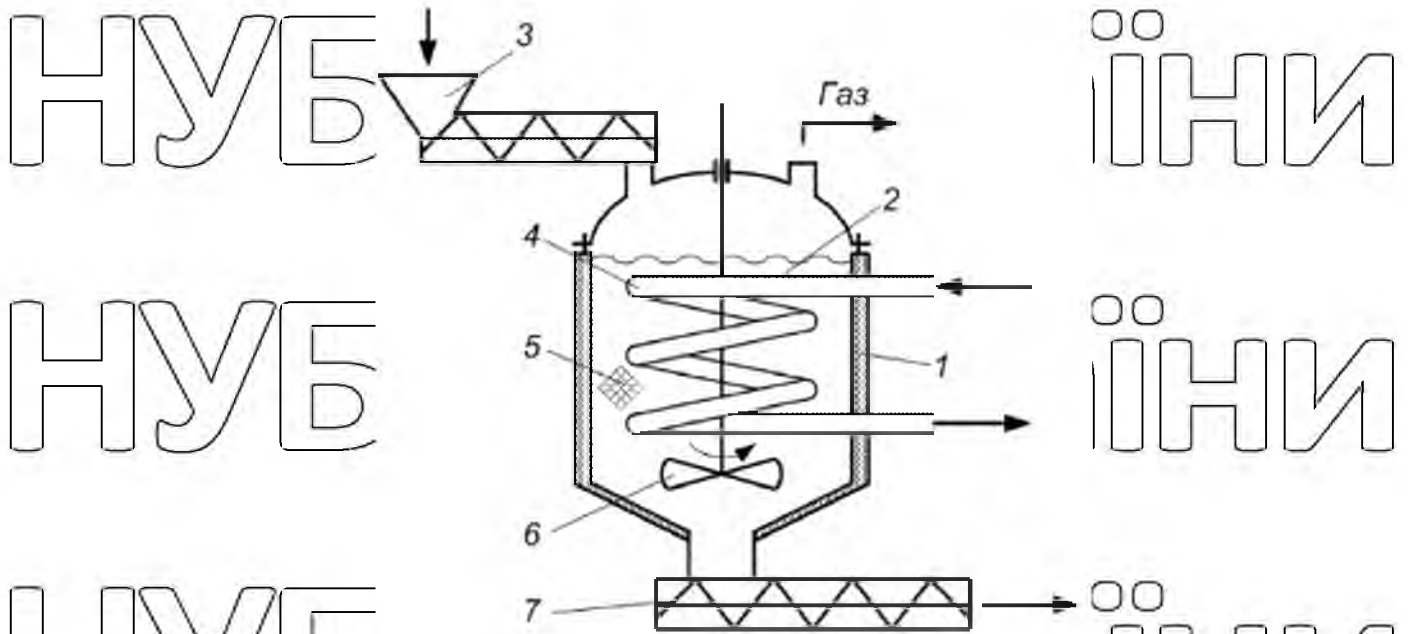


Рисунок 2.2 – Конструктивно-технологічна схема біореактора з безперервним циклом бродіння: 1 – корпус; 2 – теплообмінна труба; 3 – шнек завантаження субстрату; 4 – теплоносій в об'ємі труби; 5 – субстрат; 6 – переміщуючий пристрій; 7 – шнек вивантажувача добрив

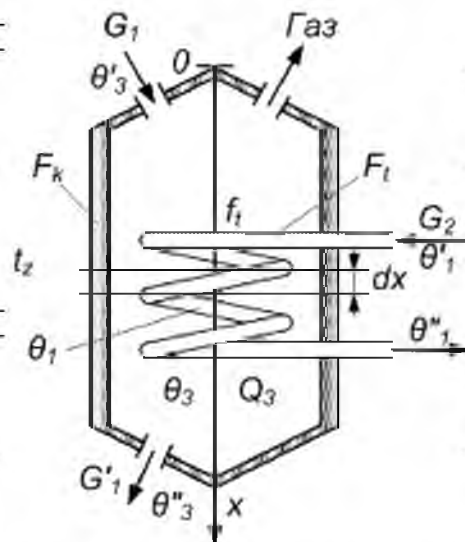


Рисунок 2.3 – Розрахункова схема теплових процесів біореактора

Для елементарного об'єму реактора висотою dx рівняння теплового балансу, що описують зміну температури в елементах біореактора запишемо у вигляді:

$$G_1 c_1 dt = \frac{\alpha_1^v f_1^v}{H} (\theta_2 - t) dx, \quad (2.1)$$

$$c_2 S_2 \rho_2 dx \frac{\partial \theta_2}{\partial \tau} = \frac{\alpha_1^v f_1^v}{H} (t - \theta_2) dx + \frac{\alpha_1^z f_1^z}{H} (\theta_3 - \theta_2) dx, \quad (2.2)$$

$$-G_2 c_2 d\theta_3 = \frac{\alpha_1^z f_1^z}{H} (\theta_3 - \theta_2) dx + \frac{\alpha_4^v F_k}{H} (\theta_3 - \theta_k) dx + q_3 m_3 dx, \quad (2.3)$$

$$c_4 S_4 \rho_4 dx \frac{\partial \theta_4}{\partial \tau} = \frac{\alpha_4^v F_k}{H} (\theta_3 - \theta_4) dx - \frac{\alpha_4^z F_k}{H} (\theta_4 - t_z) dx, \quad (2.4)$$

де $t, \theta_2, \theta_3, \theta_4$ – температура відповідно, теплоносія, стінки труби, субстрату і стінки корпусу, °С;

c_1, c_2, c_3, c_4 – питома теплоємність відповідно, теплоносія, стінки труби, субстрату і стінки корпусу, Дж/(кг·°С);

m_1, m_2, m_3, m_4 – маса відповідно, теплоносія, стінки труби, субстрату і стінки корпусу, кг;

G_1, G_2 – масові витрати теплоносія і субстрату, кг/с;

$\alpha_1^v, \alpha_1^z, \alpha_4^v, \alpha_4^z$ – коефіцієнти теплообміну відповідно, внутрішній і зовнішній змійовика, внутрішній і зовнішній корпусу, Вт/(м²·°С);

$f_1^v, f_1^z, F_k^v, F_k^z$ – поверхня відповідно, внутрішня і зовнішня трубки змійовика та корпусу, м²;

H – висота шару субстрату, що взаємодіє із теплообмінником, м;

q_3 – теплота біовиділень субстрату, Вт/кг;

x – поточна координата, м;

τ – поточний час, с.

Розкриваючи повні диференціали dt та $d\theta$ після перетворень матимемо:

$$\text{НУБІП УКРАЇНИ} \quad (2.5)$$

$$\text{НУБІП УКРАЇНИ} \quad (2.6)$$

$$\text{НУБІП УКРАЇНИ} \quad (2.7)$$

$$\text{НУБІП УКРАЇНИ} \quad (2.8)$$

Система рівнянь описує нестационарний температурний режим біореактора і може бути розв'язана одним із числових методів [11]. Для наближеного визначення динамічних і статичних характеристик біореактора, розглянемо окремо функціонування біореактора в стаціонарному і нестационарному режимах.

Стаціонарний режим характеризується тим, що при безперервному підведенні і відведенні потоків біомаси та теплоносія температура біомаси і теплоносіїв в кожній точці об'єму (при одномірному потоці для кожної точки по довжині в напрямку переміщення) в часі не змінюються. Тобто має місце стаціонарний розподіл температури і похідні за часом дорівнюють нулю:

$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} = \frac{\partial \theta_2}{\partial \tau} \equiv \frac{\partial \theta_3}{\partial \tau} \equiv \frac{\partial \theta_4}{\partial \tau} = 0$. В цьому випадку зміна температури за координатою може бути описана двома рівняннями у звичайних похідних і двома алгебраїчними рівняннями.

$$\text{НУБІП УКРАЇНИ} \quad G_1 c_1 H \frac{\partial t}{\partial x} = \alpha_1 f_1^v (\theta_2 - t), \quad (2.9)$$

$$\text{НУБІП УКРАЇНИ} \quad G_3 c_3 H \frac{\partial \theta_3}{\partial x} = \alpha_2 f_1^z (\theta_2 - \theta_3) + \alpha_3 F_k^v (\theta_4 - \theta_3) + q_3 m_{33}, \quad (2.10)$$

$$\alpha_1 f_1^v (\theta_2 - t) = \alpha_2 f_1^z (\theta_3 - \theta_2), \quad (2.11)$$

$$\text{НУБІП УКРАЇНИ} \quad \alpha_3 F_k^v (\theta_3 - \theta_4) = \alpha_4 F_k^z (\theta_4 - t_z). \quad (2.12)$$

Визначивши з рівняння (2.11) і (2.12) значення величин θ_2 і θ_4 :

$\theta_2 = a_1\theta_3 + a_2t$, $\theta_4 = a_3\theta_3 + a_4t$, і підставивши отримані значення в рівняння (2.9) і (2.10) після перетворень матимемо:

(2.13)

$$\text{де } T_1 = \frac{G_1 a_1 H}{\alpha_1 f_1^v a_1}, m_1 = \frac{1 - a_2}{\alpha_1}, T_2 = \frac{G_2 c_3 H}{\alpha_2 f_1^z a_2}, n_2 = \frac{a_3 m_2}{\alpha_2 f_1^z a_2};$$

$$m_2 = \frac{\alpha_2 f_1^z (1 - a_1) - \alpha_3 F_k^v (a_3 - 1)}{\alpha_2 f_1^z a_2}; a_1 = \frac{\alpha_2 f_1^z}{\alpha_1 f_1^v + \alpha_2 f_1^z}; a_2 = \frac{\alpha_1 f_1^v}{\alpha_1 f_1^v + \alpha_2 f_1^z};$$

$$a_3 = \frac{\alpha_3 F_k^v}{\alpha_3 F_k^v + \alpha_4 F_k^z}; a_4 = \frac{\alpha_4 F_k^z}{\alpha_3 F_k^v + \alpha_4 F_k^z}.$$

Розв'язуючи систему рівнянь (2.13) відносно $\theta_3(x)$ і $t(x)$, (тобто

зводячи два рівняння до одного) після перетворень отримаємо:

$$A \frac{d^2 \theta_3}{dx^2} + B \frac{d\theta_3}{dx} + C\theta_3 = D_1, \quad (2.14)$$

$$A \frac{d^2 t}{dx^2} + B \frac{dt}{dx} + Ct = D_2, \quad (2.15)$$

де $A = T_1 T_2$; $B = m_1 T_2 + m_2 T_1$; $C = m_1 m_2 - 1$; $D_1 = m_1 m_2$; $D_2 = n_2 m_2$.

Розв'язок неоднорідного рівняння другого порядку отримаємо у

вигляді суми розв'язків однорідного і частинного рівнянь:

(2.16)

де C_1, C_2 – сталі інтегрування;

$$\gamma_{1,2} = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \text{ – корені характеристичного рівняння.}$$

Стаді інтегрування визначимо з початкових умов: $x=0$; $t=t_1$;

$$dt/dx=0:$$

$$C_1 = -\gamma_1 \frac{t_1 C - D_1}{C(r_1 - r_2)}; C_2 = -\gamma_2 \frac{t_1 C - D_2}{C(r_1 - r_2)}. \quad (2.17)$$

З урахуванням (2.17) рівняння (2.16) набуває вигляду:

$$(2.18)$$

Аналогічно розв'язок рівняння (3.15) за умов: $x=0$; $\theta_3 = \theta_{31}$;

$$d\theta_3/dx=0:$$

$$\theta_3(x) = \frac{\theta_{31} C - D_1}{C(r_1 - r_2)} (\gamma_1 e^{\gamma_2 x} - \gamma_2 e^{\gamma_1 x}) + \frac{D_1}{C}. \quad (2.19)$$

Рівняння (2.18) і (2.19) описують розподіл температури субстрату і

теплоносія за висотою біореактора. Температура субстрату і теплоносія на виході може бути визначена з рівнянь (2.8) і (2.19) підстановкою $x=H$.

Для визначення динамічних характеристик біореактора з урахуванням розподілу температури потоків біосубстрату і теплоносія системі підігріву

необхідно з рівнянь (2.18) і (2.19) визначити похідні від температури за

координатою (градієнти температури) $\partial t(x)/\partial x$, $\partial \theta(x)/\partial x$ і підставити

отримані значення у рівняння (2.5) і (2.7). Визначаючи похідну від залежностей (2.18) і (2.19):

$$\frac{\partial t(x)}{\partial x} = \frac{\gamma_1 \gamma_2 (t_1 C - D_1)}{C(\gamma_1 - \gamma_2)} (e^{\gamma_2 x} - e^{\gamma_1 x}) = F_1(x)$$

$$\frac{\partial \theta_3(x)}{\partial x} = \frac{\gamma_1 \gamma_2 (\theta_3 C - D_2)}{C(\gamma_1 - \gamma_2)} (e^{\gamma_2 x} - e^{\gamma_1 x}) = F_2(x),$$

і підставляючи отримані значення в рівняння (2.5), (2.7) отримаємо систему диференціальних рівнянь у звичайних похідних:

$$\dots \quad (2.20)$$

$$\dots \quad (2.21)$$

$$\dots \quad (2.22)$$

$$\dots \quad (2.23)$$

які описують нестационарні температурні режими біореактора, як динамічного об'єкту четвертого порядку. Для спрощення аналітичного дослідження та параметричної ідентифікації математичної моделі (за даними натурального експерименту) доцільно знизити порядок рівнянь. Тепловою ємність теплообмінної труби додаємо до теплоємності теплоносія ($m_1 c_1 + m_2 c_2$), а теплоємність корпусу до субстрату ($m_3 c_3 + m_4 c_4$), теплообмін між потоками врахуємо коефіцієнтами теплопередачі через стінку труби k_1 і корпусу k_2 :

$$k_1 = \frac{1}{\alpha_1^v} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_1^z}, \quad k_2 = \frac{1}{\alpha_3^v} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + \frac{1}{\alpha_3^z},$$

де $\delta_2, \delta_3, \lambda_2, \lambda_3$ – товщина стінки труби і корпусу та відповідні коефіцієнти теплопровідності.

Введемо позначення: $T_1' = \frac{m_1 c_1 + m_2 c_2}{k_1 f_1}$; $T_2' = \frac{m_3 c_3 + m_4 c_4}{k_1 f_1}$; $b_1 = \frac{F_1(x)}{k_1 f_1}$;

$$a_2 = \frac{m_3 \bar{F}_k + m_1 \bar{f}_1}{k_1 \bar{f}_1}; \quad b_2 = \frac{F_1(x) + q_3 m_3 + k_3 \bar{F}_k t_z}{k_1 \bar{f}_1}; \quad \bar{f}_1 = \frac{f_1^v + f_1^z}{2}; \quad \bar{F}_k = \frac{F_k^v + F_k^z}{2}.$$

З урахуванням зроблених припущень і введених позначень динамічний температурний режим біореактора визначаються системою наступних рівнянь:

(2.24)

Розв'язок системи рівнянь (2.24) за початкових умов: $\tau = 0$; $t = t_0$,

$\theta_3 = \theta_{30}$ (де t_0 , θ_{30} – початкові значення температури теплоносія і субстрату),

$dt/d\tau = d\theta_3/d\tau = 0$ отримано аналогічно (2.13):

(2.25)

(2.26)

де $\kappa_{1,2} = \frac{-B_1 \pm \sqrt{B_1^2 - 4A_1C_5}}{2A_1}$ – корені характеристичного рівняння;

$A_1 = T_1' T_2'$; $B_1 = T_1' a_2 + T_2'$; $C_5 = a_2 - 1$; $D_3 = b_2 + b_1 a_2$; $D_4 = b_1 + b_1$.

Система рівнянь (2.20) – (2.23) є математичним описом динаміки

теплових процесів в біореакторі із трубно-водяним обігрівом субстрату в біореакторі. Тобто об'єкт з розподіленими параметрами представляємо математичну, як об'єкт із зосередженими параметрами.

Використовуючи спрощені рівняння (2.25) – (2.26) отримаємо розгінну

характеристику температури субстрату в об'ємі біореактора при трубно-

водяному підігріві (рис. 2.4-5). Всі розрахунки проведено в математичному пакеті MathCAD для мезофільних бактерій.

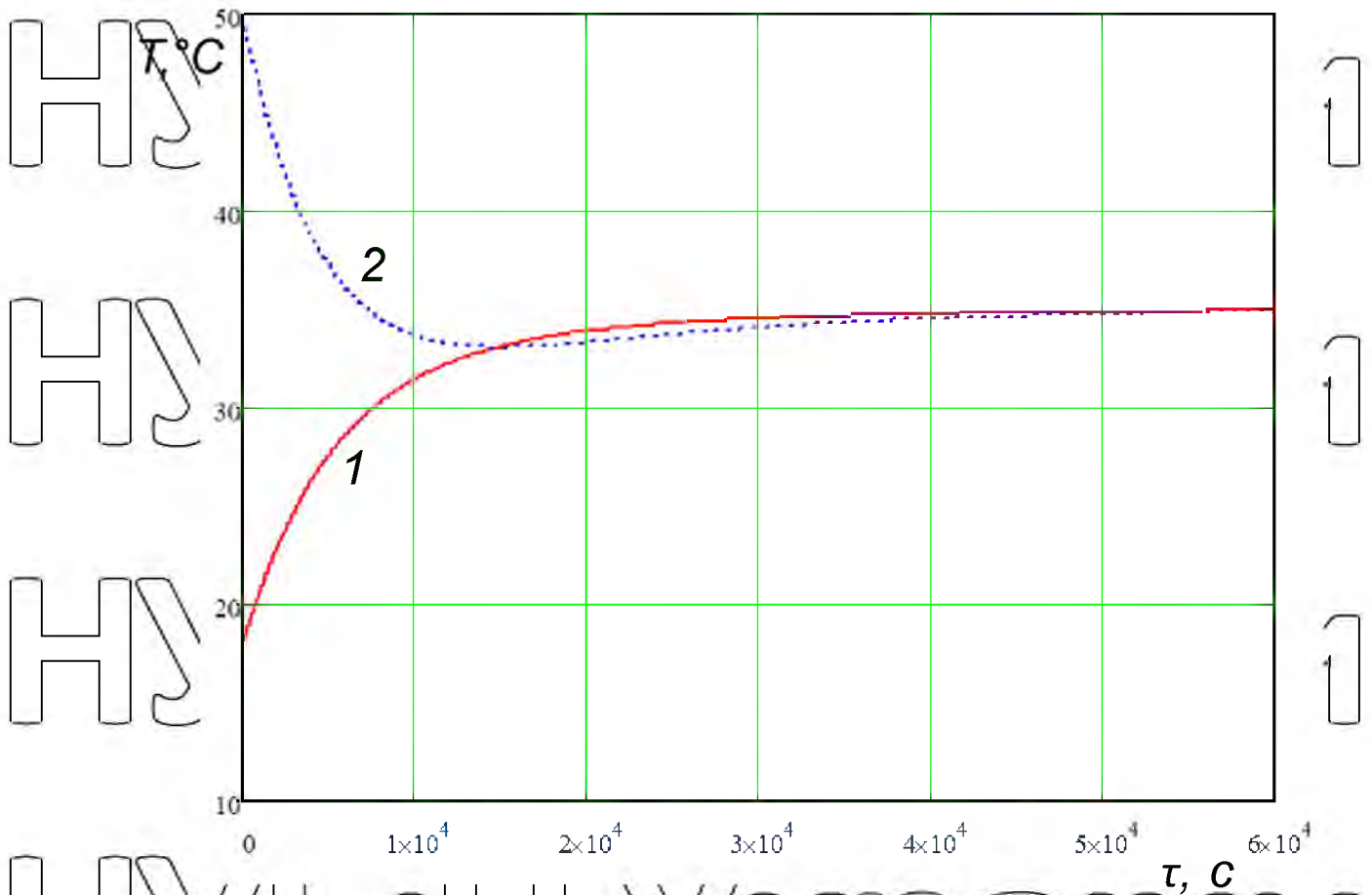


Рисунок 2.4 – Динамічна характеристика температури субстрату (1) та теплоносія (2) в біореакторі

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

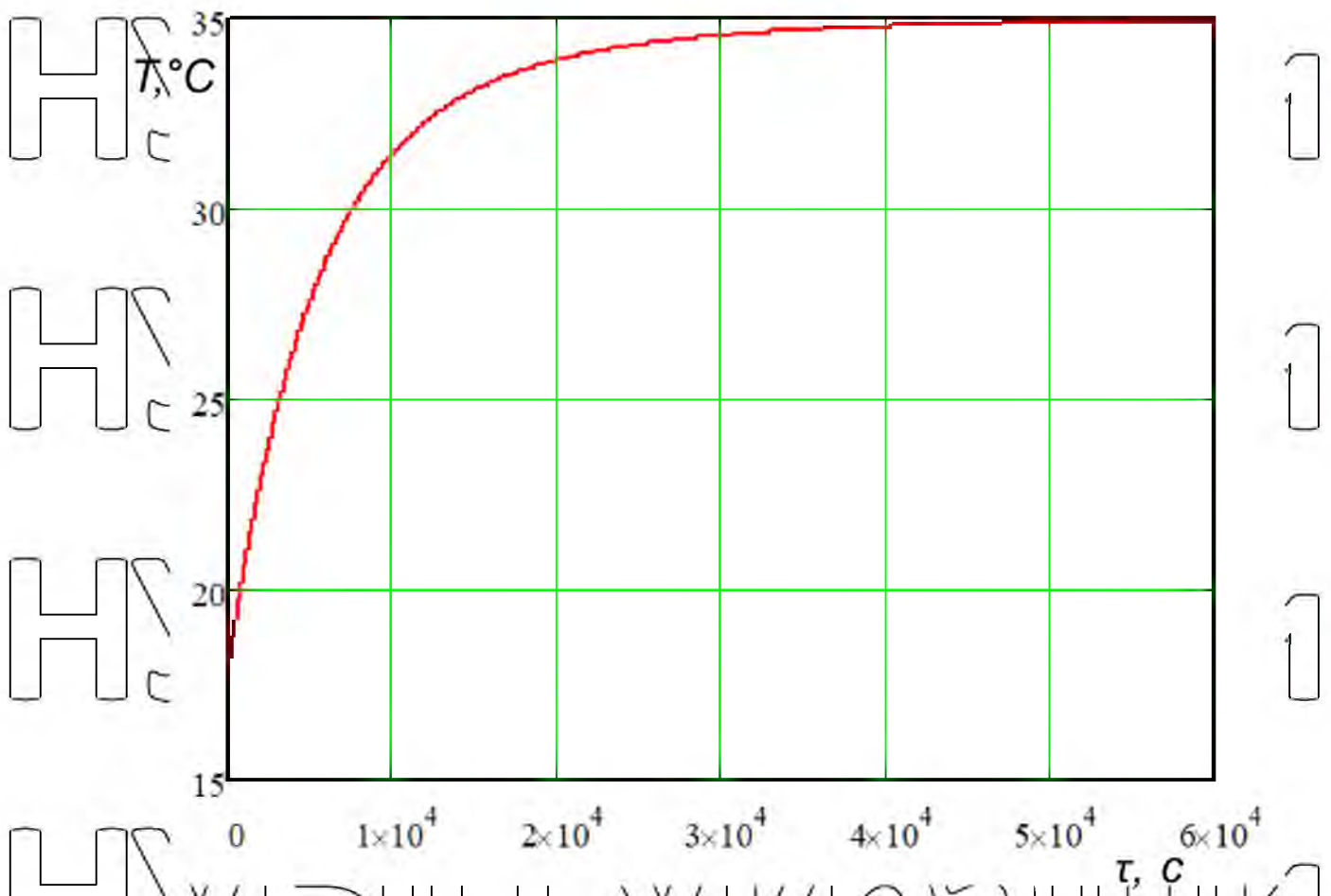


Рисунок 2.5 – Розгінна характеристика при трюно-волянму підігріві субстрату в біореакторі

2.3. Визначення передатної функції об'єкта керування.

Для побудови нормованої розгінної характеристики при підтримці температури субстрату в біореакторі, як об'єкта автоматизації, скористуємось формулою для розрахунку нормованої кривої розгону:

$$y_0(t) = \frac{y(t) - y(0)}{y(\infty) - y(0)} \quad (2.27)$$

де $y(t)$ – значення напору за час t , м;

$y(0)$ – значення напору за час $t \neq 0$, м;

$y(\infty)$ – значення напору за час $t = \infty$, м.

Використовуючи данні отриманої розгінної характеристики при підгріві субстрату (рис. 2.5) будемо графік нормованої розгінної характеристики об'єкта керування (рис. 2.6).

$$T_{ok}=8000 \text{ с}=2.2 \text{ год}$$

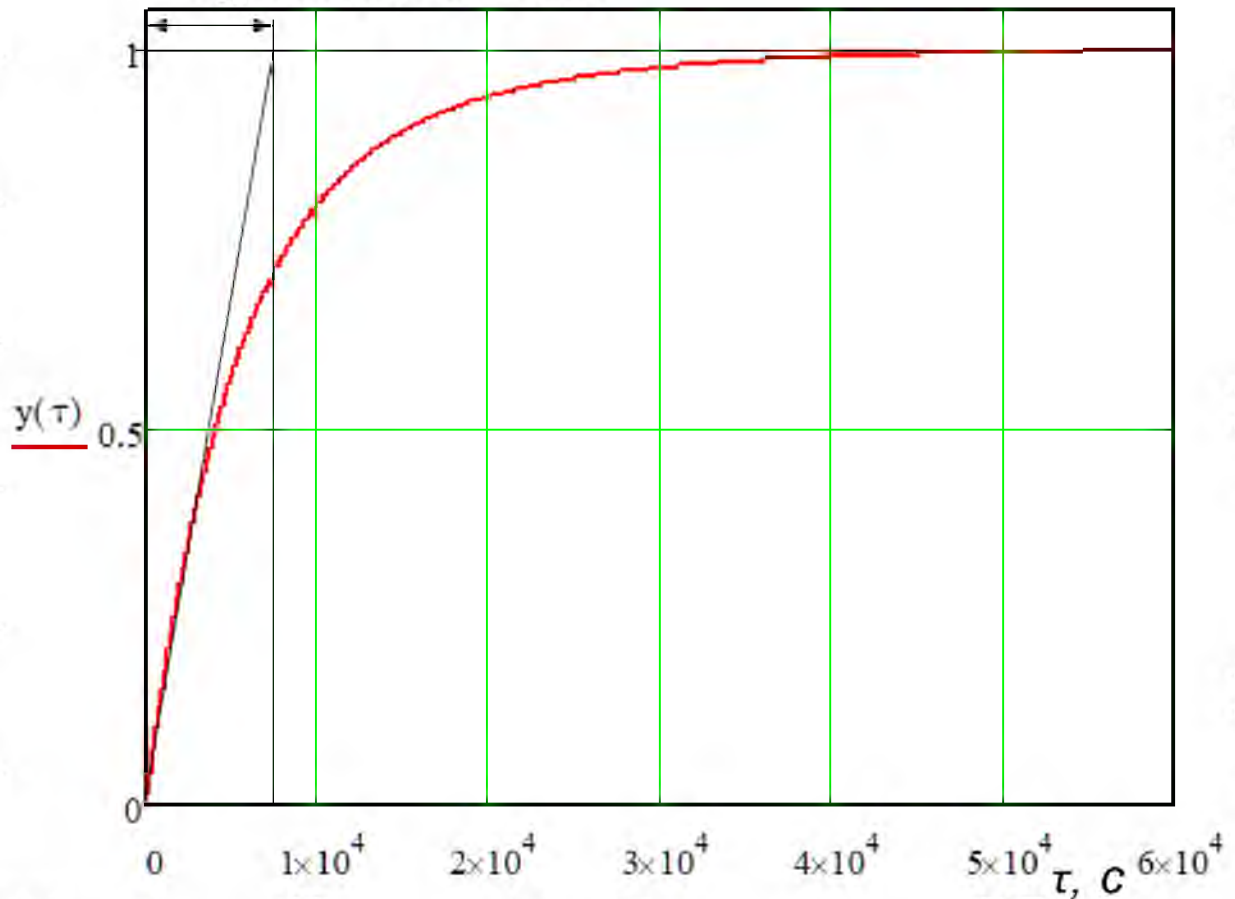


Рисунок 2.6 – Нормована розгінна характеристика трубно-водяному підгріву субстрату в біореакторі (об'єкта керування)

Передатну функцію об'єкта керування визначаємо згідно розгінної характеристики при трубно-водяному підгріві субстрату в біореакторі.

Передатна функція при трубно-водяному підгріві субстрату в біореакторі, як статичного об'єкта керування має вид:

$$W_{ok}(p) = \frac{k_{ok} \cdot e^{-p \cdot T_{ok}}}{T_{ok} \cdot p + 1} \quad (2.28)$$

де K_{ok} – коефіцієнт передачі об'єкта керування;
 T_{ok} – постійна часу об'єкта керування, с;
 τ_{ok} – час запізнення об'єкта керування, с.

Постійна часу об'єкта керування та час запізнення визначається

графічно, з нормованої розгінної характеристики (рис. 2.6) $\tau_{ok} = 0$ с;
 $T_{ok} = 8000$.

Коефіцієнт передачі об'єкта керування визначається, як відношення приросту температури до приросту подачі теплоносія (зміни кута повороту триходового клапану для подачі теплоносія в магістраль підігріву) вираженої як відведена теплова потужність:

$$K_{ok} = \frac{\Delta G}{\Delta T} = \frac{11}{25} = 0.44.$$

Запишемо рівняння передатної функції (2.28) температури субстрату при трубно-водяному підігріві в біореакторі з врахуванням отриманих значень:

$$W_{ok} = \frac{0.44}{8000p + 1} \quad (2.29)$$

НУБІП УКРАЇНИ

НУБІП УКРАЇНИ

РОЗДІЛ 3

ВИБІР РЕГУЛЯТОРА ТА ОБҀРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЙОГО НАЛАШТУВАНЬ

При розробці функціональної схеми використовуємо ГОСТ 21.404-85. СПДС/ «Автоматизація технологічних процесів. Позначення умовні приладів і засобів автоматизації в схемах».

Згідно технічного завдання функціональна схема розробляється для метантенка (біореактора) та передбачає наявність одного контуру керування подачею води в труби для підігріву субстрату з одночасним його переміщенням, щоб уникнути зони перегріву (рис. 1.9).

На функціональній схемі САК температурою субстрату в біореакторі наведено схему яка передбачає використання промислового програмованого логічного контролера який буде виконувати операції в автоматичному режимі (рис. 3.1).

Для вимірювання температури субстрату використовуємо датчик температури TE1. Для вимірювання температури гарячої води в контурі підігріву використовуємо датчик TE2. Регулювання відбувається шляхом використання триходового клапану NS10 та зміни кількості гарячої води, що поступає від котла до біореактора. Для рівномірності підігріву використовуємо мішалку обладнану електричним двигуном з редуктором NS9 та перетворювачем частоти. Під куполом біореактора в зоні в якій накопичується метан встановлено датчик температури TE3, датчик вологості ME6, датчик тиску PE5 та датчик концентрації метану QE7. Для захисту біореактору від вибуху при перевищенні тиску, він вимірюється датчиком тиску PE5 та дає команду клапану NS16 на відкриття для зменшення тиску.

Для завантаження субстрату використовується засувка NS13 та для відвантаження добрив відкривається засувка NS14 та вмикається електродвигун шнекового транспортера NS15.

При сигналізації про накопичення метану у верхній зоні біореактора сигналізує датчик PE7 за командою якого відкривається клапан NS12 та метан поступає далі в ємності для накопичення

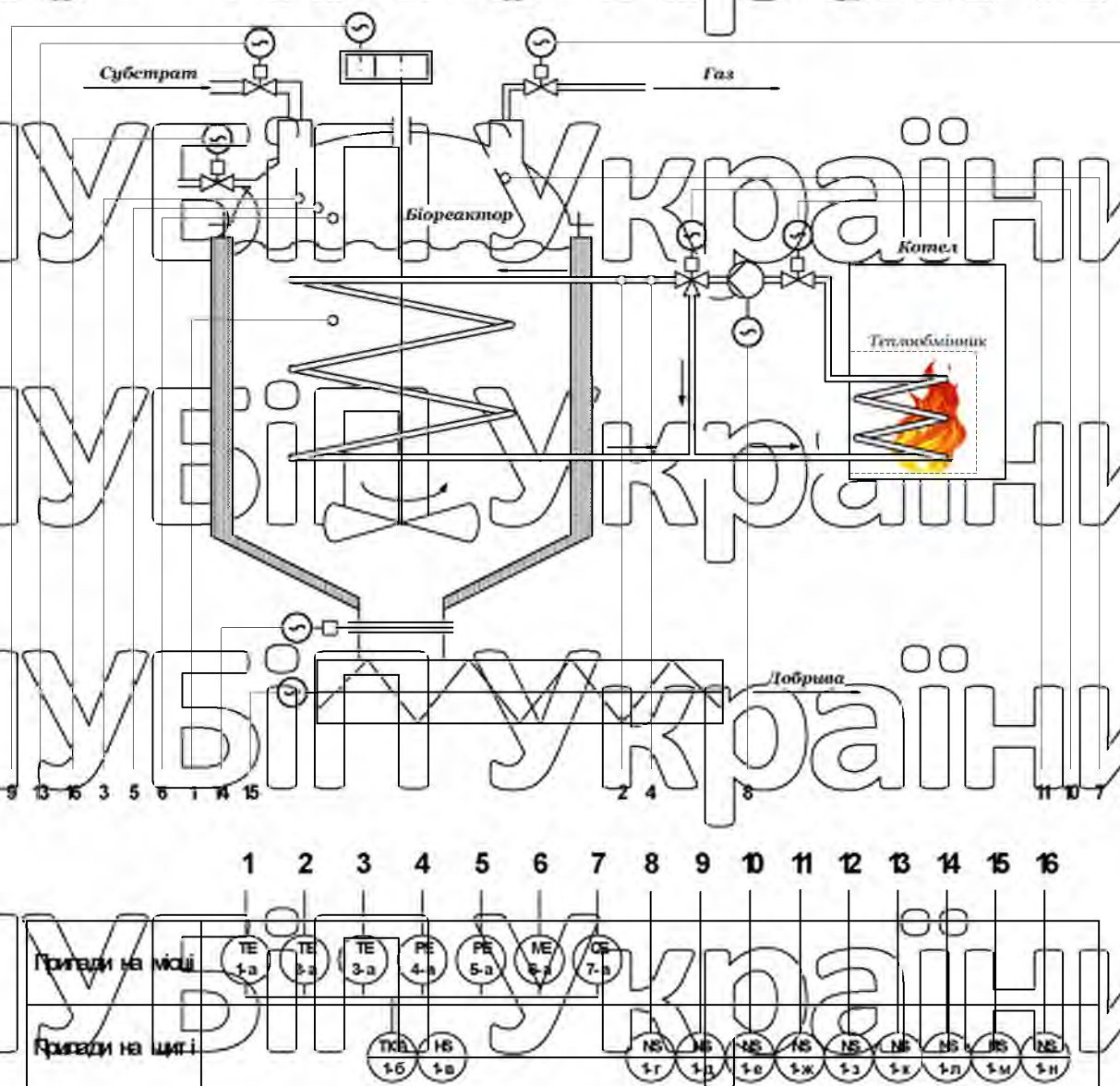


Рисунок 3.1 – Функціонально-технологічна

САК метантенком (біореактора)

3.1. Вибір регулятора.

У відповідності до поставленої задачі кваліфікаційної магістерської роботи в якості регулятора використовуємо програмований логічний контролер фірми Schneider Electric. Обираючи програмований логічний контролер необхідно звернути увагу на кількість входів-виходів, наявність

аналогових входів-виходів, наявність необхідних протоколів для керування частотним перетворювачем, можливість нарощування та заміни модулів. Виходячи з вище перелічених умов обираємо модульний програмований логічний контролер марки Modicon M238 (рис. 3.2-3).



Рисунок 3.2 – Загальний вигляд модульного програмованого логічного контролеру Modicon M238, модулів TM2AMM6HT та TWDDRA8RT

Maximum number of expansions	7	7
Power supply	24 VDC	24 VDC
Serial link	1	2
CANopen master	—	1
Inputs	14/24 VDC, 8/100 kHz	14/24 VDC, 8/100 kHz
Outputs	10 trans; 0.5 A, 4/100 kHz	10 trans; 0.5 A, 4/100 kHz
References	TM238LDD24DT	TM238LFDC24DT

Рисунок 3.3 – Узагальнені технічні характеристики програмованого логічного контролера Modicon M238 фірми Schneider Electric

Цей регулятор програмується за допомогою спеціального програмного забезпечення SoMachine. Універсальний інженерно-программний пакет SoMachine сумісний з усіма апаратними платформами MachineStructure. Він містить в собі ПЗ для всього життєвого циклу машини: від програмування і експлуатації до діагностики та обслуговування.

SoMachine – це єдине середовище розробки прикладних програм для ПЛК і створення інтерфейсу користувача для панелей оператора. Вона володіє інтуїтивно зрозумілим інтерфейсом програмування, розробленим спеціально для скорочення термінів навчання людей, не знайомих з цим продуктом раніше. Підтримується п'ять мов стандарту MEK 611 313: IL (Instruction List, список інструкцій), LD (Ladder Diagram, релейні схеми), SFC (Sequential Function Chart, послідовні функціональні схеми), ST (Structured Text, структурований текст), FBD (Function Block Diagram, функціональні блок-схеми) та додатково мову CFC (Continous Function Chart, безперервні функціональні схеми).

Наявність спеціалізованих можливостей, таких як створення вбудованої візуалізації, симулятор програми, робота програми з точками зупину, внесення змін в режимі реального часу, значно полегшує і прискорює налагодження необхідного додатку. А перевага можливість віддаленого мережевого підключення до контролера спрощує обслуговування машин і усуває необхідність виїзду інженера налагодчика на об'єкт у разі виникнення екстраординарної ситуації, що значно скорочує терміни відновлення працездатності системи та матеріальні витрати виконавця.

Для підключення аналогових датчиків використовуємо додатковий модуль TM2AMM6HT (рис. 3.2), який підключається до програмованого логічного контролера та має спільну шину даних та живлення (табл. 3.1).

Додатково використовуємо модуль виведення дискретних сигналів TWDDRA8RT.

Узагальнена структура підключення до модульного програмованого логічного контролера різноманітних модулів розширення, виконавчих механізмів та датчиків наведена наведенена в додатку А

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики TM2AMM6HT

Parameter		Value	Default value	Description
Type		Not used 0- 10 V 4 - 20 mA	Not used	This identifies the mode of a channel.
Scope		Normal Customized	Normal	This identifies the range of values for a channel.
Minimum	Normal	0	0	Specifies the lower measurement limit.
	Customized	-32768...32767	-32768	
Maximum	Normal	4095	4095	Specifies the upper measurement limit.
	Customized	-32768...32767	32767	

3.2. Вибір сприймаючих елементів системи автоматичного керування

температурою субстрату в біореакторі.

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

– на першому етапі – за типом контролюваного параметра об'єкта управління й умовами його роботи визначається різновид перетворювача;

– на другому етапі – після вибору всіх елементів регулятора за каталогами, знаходять його типорозмір.

За технологічними вимогами необхідно підтримувати заданий рівень температури субстрату межах біотехнологічних вимог до вирощування певного виду метано-продукуючих бактерій. Виходячи з відповідних біотехнологічних вимог до вирощування мезофільних бактерій в біореакторі нормальний діапазон сприймаючого елемента складає 35 °С. Зважаючи на це та на умови використання обираємо відповідні датчики температури субстрату, теплоносія (води в трубопроводі) та газів (під куполом біореактора). У відповідності до діапазону вимірювання та технічних особливостей виконання та використання (висока швидкість, використання в

агресивних середовищах та значних значеннях тиску вимірюємої середи) обираємо датчик TCM-1088 (рис. 3.4).



Рисунок 3.4 – Датчик температури TCM-1088 (термометр опору мідний)

Передатна функція датчика температури субстрату в об'ємі біореактора в загальному випадку має вид:

$$W_{ce}(p) = \frac{k_{ce}}{T_d p + 1}, \quad (3.1)$$

де k_{ce} – коефіцієнт передачі сприймаючого елемента;

T_d – час термічної реакції, с.

Коефіцієнт передачі та час демпфірування сприймаючого елемента визначаємо за його технічними характеристиками та з врахуванням (3.1)

отримаємо:

$$W_{ce}(p) = \frac{0.7}{15p + 1}. \quad (3.2)$$

Контроль за тиском в системі опалення та газів в верхній частині купола здійснюється датчиком тиску XMLG016D21 фірми Шнейдер Електрик (рис. 3.5).

НУ

НИ

НУ

НИ

НУ

НИ



Рисунок 3.5 – Датчик тиску XMLG016D11 фірми Шнейдер Електрик

Для вимірювання вологості газу використовуємо датчик Easidew PRO XP (рис. 3.6).

НУБІГ

України

НУБІГ



України

НУБІГ

України

Рисунок 3.6 – Датчик вологості газів Easidew PRO XP

Для вимірювання концентрації метану верхній частині біореактору використовуємо датчик Poly Xeta® 2 Ex PX2-5-X-P3440 (рис. 3.7).

НУБІГ

України



Рисунок 3.6 – Датчик для вимірювання концентрації метану PolyXeta®2 Ex PX2-5-X-P3440

3.3. Вибір виконавчих механізмів системи автоматичного керування температурою субстрату в біореакторі.

В роботі необхідно обрати наступні виконавчі механізми та регулюючі органи: регулюючий вентиль обладнаний сервоприводом; заслінки «метелики» з сервоприводами для регулювання подачі теплоносія в окремі ділянки системи трубне-водяного нагріву субстрату в біореакторі.

Регулюючий вентиль обираємо RV 111 фірми LDM (рис. 3.7).

Обчислення проволиться з урахуванням стану регулюючої ланцюга і робочих умов матеріалу за наведеними нижче формулами. Регулюючий клапан повинен бути підбраний так, щоб був здатний регулювати максимальні витрати в даних експлуатаційних умовах. При цьому слід контролювати щоб найменший регульована витрата також піддавався регулюванню.



Рисунок 3.7 – Регулюючий клапан RV 111 фірми LDM

За умови, що регулююче відношення вентиля:

$$r = \frac{Kvs}{Kv_{\min}} \quad (3.3)$$

де r – відношення регулювання;

Kvs – умовний коефіцієнт витрати арматури;

Kv_{\min} – коефіцієнт витрати при мінімальній нормі витрати.

Унаслідок можливого мінусового допуску 10 % значення Kv_{100} щодо

Kvs і вимоги щодо можливості регулювання в області максимальної витрати (зниження і підвищення витрати) виробник рекомендує вибрати значення Kvs регулюючого вентиля, яке більше максимального робочого значення Kv :

$$Kvs = 1.1 + 1.3Kv. \quad (3.4)$$

де Kv – коефіцієнт витрати в складових одиницях витрати.

Притому необхідно прийняти до уваги зміст "запобіжного припуску" в передбачуваному в розрахунку значенні Q_{stat} , який би міг стати причиною звищення продуктивності арматури.

Відповідно значення K_v для рідини можна знайти з рівняння:

$$K_v = \frac{Q}{100} \sqrt{\frac{\rho_1}{\Delta p}} \quad (3.5)$$

де Q – об'ємна витрата в робочому режимі;

ρ_1 – абсолютний тиск перед регулюючим вентилем;

Δp – перепад тиску на регулюючому вентилі.

Витратні характеристики вентиля отримуємо з технічних

характеристик щодо RV 111 фірми LDM (рис. 3.8).

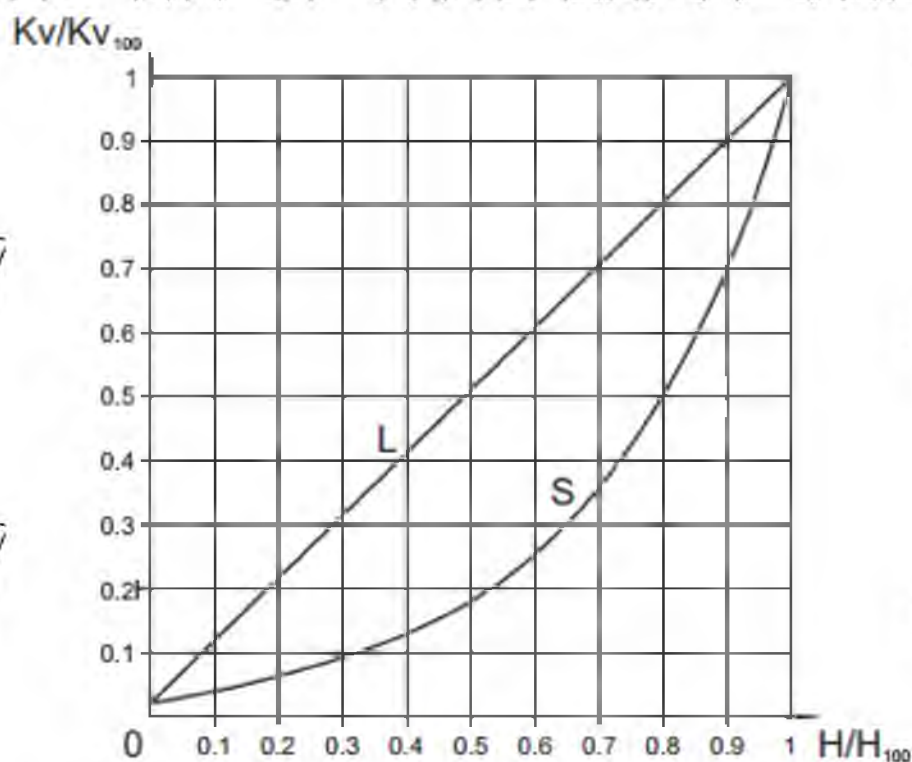


Рисунок 3.8 – Витратні характеристики вентилів RV 111:
L – лінійна характеристика, S – LDMspline характеристика

Для води з температурою до 50 °С, статичному тиску в точці приєднання 600 кПа та перепаду тиску на насосі 35 кПа, трубі зворотній 20 кПа та трубі подачі 25 кПа при номінальних витратах 50 м³/год, умовний коефіцієнт витрати арматури буде:

$$K_{vs} = (1.1 \dots 1.3) K_v = (1.1 \dots 1.3) 1118 = 1229.8 \dots 1453 \text{ м}^3/\text{год}$$

Цій величині відповідає діаметр просвіту DN 50. Обираємо нарізний вентиль PN 16 з чавуну, та отримуємо номер типу: RV 111 R 2331 16/150-25/T.

Відношення дійсних втрат тиску обраного вентиля при повному відкритті становить:

$$\Delta p_{v100} = \left(\frac{Q}{K_{vs}} \right)^2 = \left(\frac{50}{1500} \right)^2 = 0.033 \text{ бар (3.3 кПа)}.$$

Таким чином обчислена дійсна гідравлічна втрата регулюючої арматури повинна бути відображена в гідравлічному розрахунку мережі.

У триходових вентилів найголовнішою умовою безпомилкового функціонування є дотримання мінімальної різниці тиску на штуцерах А і В. Триходові вентиля в змозі впоратися і зі значним диференціальним тиском між штуцерами А і В, але за рахунок деформації регулюючої характеристики, відбувається погіршення здібності до регулювання. Тому при найменшому сумніві щодо різниці тисків між обома штуцерами, рекомендовано для якісного регулювання використовувати двоходовий вентиль в з'єднанні з жорстким замиканням.

В залежності від вимог, що вимагає регулювання обираємо відповідний тип сервоприводу.

Добуток передатної функції двигуна до передатної функції регулюючого органу це передатна функція виконавчого механізму:

$$W_{BM} = W_d \cdot W_{PO}.$$

(3.6)

Виконавчий механізм, що буде розраховуватись в контурі керування регулятора це сервопривод який регулює кут відкриття триходового вентиля.

Сервопривод обираємо в залежності від типу вентиляю.

Електромеханічні приводи АНТЗ-5 (рис. 3.9, табл. 3.2) призначені для управління регулюючими вентилями LDM ряду RV 111 COMAR line.

Конструкція приєднання на вентиль забезпечує нульовий зазор між тягою приводу і вентиля, таким чином забезпечується точна здатність регулювання

навіть при мінімальних змінах положення. Приводи самоадгукуючі, кінцеві положення обмежені власним ходом вентиля. Для спільної роботи з системою регулювання приводи оснащені стандартним трипозиційним або

пропорційним управлінням (вибірково 0...10 В, 2...10 В, 0...20 мА або

4...20 мА). Версія з позначенням "SC" обладнана електронним способом

керуваної аварійної функцією, яка активується при випаданні живлення або

напруги на клеми NF у приводів з пропорційним управлінням. У налаштуванні

приводів з пропорційним управлінням можна визначити положення в

процентах ходу, в яке привід встановиться після активації аварійної функції.

Додатковим станом для налаштувань є положення "закрито". Джерелом

енергії служить блок конденсаторів, який під час експлуатації постійно

заряджається. Термін служби конденсаторів 10 років, що відповідає терміну

служби клапанів під нормальний умовами. Всі типи приводів оснащені

маховиком, що дозволяє в разі необхідності проводити управління вручну.

Приводи в комплекті з вентилями LDM призначені перш за все для

застосування в системах опалення, установках кондиціонування повітря і

холодильних системах. У цих випадках можна з успіхом застосувати

комбінацію регулюючої характеристики LDMspline, оптимізованої для

процесів перенесення тепла з точністю і надійністю функції даної простий

механічної конструкцією приводу. У деяких випадках можна застосувати

аварійну функцію приводу, яка при припиненні подачі напруги на клеми приводу NF переставити вентиль в задане гідне певне положення



Рисунок 3.9 – Електричний привод ANT3-5.11SC

Особливості приводу ANT3-5.11SC:

- простий монтаж на вентиль, який не потребує настройки і інструментів;
- самоадаптуєма функція, яка чітко визнає діапазон коду приводу по кінцевим положенням ходу вентилля;

- маховик, що дозволяє в разі необхідності здійснювати управління вручну;

- показник ходу, інформує про стан вентилля зараз;
- можливість зенашення зворотного зв'язку резистивним або

- переставним вимикачем положення (в приводах з трипозиційним управлінням);

- інтелектуальне мікропроцесорне управління (в приводах з аварійної функцією і пропорційним управлінням);

- автоматичне розпізнавання проникнення забруднень в простір між сідлом і конусом вентилля, включаючи алгоритм для функції самоочищення (в приводах з пропорційним управлінням);

- можливість вибору типу управління 0...10 В, 2...10 В, 0...20 мА, 4...20 мА (в приводах з пропорційним управлінням);

можливість вибору цільового положення аварійної функції в приводах з пропорційним управлінням і аварійною функцією в діапазоні 0...100 % ходу;

- можливість ознайомлення з історією та діагностика аварійних станів у виконанні з мікропроцесором;

- висока експлуатаційна надійність і довговічність, завдяки простій конструкції і вибору якісних металевих матеріалів механічно навантажених деталей;

- - зворотний зв'язок з сигналом напруги або потоку у приводів з мікропроцесором;

- можливість цифрового управління (протокол MODBUS);

- можливість налаштування діапазону чутливості;

- - можливість зміни напрямку керуючого сигналу.

Використовуючи отримані данні та паспортні данні залежності витрат від куту відкривання дають можливість отримати передатну функцію виконавчого механізму

$$W_{BM}(p) = \frac{3.3}{5p+1} \quad (3.7)$$

В якості насосного агрегату обираємо одноступінчастий насос Hydro-Vacuum MVA, MVB (рис. 3.10, табл. 3.3).



Рисунок 3.10 – Одноступінчастий насос Hydro-Vacuum MVA, MVB

Таблиця 3.2 – Технічні характеристики електричного приводу ANT3-5.11SC

Параметр	Значення
Напруга живлення ($\pm 15\%$)	24 В AC/DC
Частота	50 Гц
Управління	0...10 В, 4...20 мА
Споживана потужність	14 Вт
Умове зусилля	300 Н +30 %
Номинальний хід	5.5 мм
Час перестановки 50 Hz	5 с
Аварійна функція	8 с
Зворотній зв'язок	0...10 В, 4...20 мА
Імпеданс входу	>10 КОм (В) 250 Ом (мА)
Ступінь захисту	IP 54 (IEC 60529)
Макс. температура середовища	150 °C
Робоча температура окруж. середовища	-5...+55 °C
Допустима вологість	5...95 %
Умови зберігання	-15...+55 °C, 5...95 %
Маса	0.8 кг

Hydro-Vacuum MVA, MVB – це одноступінчагі, відцентрові, нормально всмокуючі лопатеві насоси в моноблочній системі, де робоче колесо насоса і двигуна розташовані на загальному валу. Насос і двигун мають загальну систему підшипників. Підшипники – двосторонні, закриті, наповнені маслом на час експлуатації.

Насоси MV призначені для перекачування чистої, негорючої і вибухобезпечної рідини, без вмісту твердих і довговолоконистих речовин.

Якість перекачується кошти повинна вміститися в межі корозійної стійкості матеріалів конструкції. Насоси можуть бути виготовлені з сирового чавуну, бронзи, аустенітної сталі.

Насоси типу MV застосовуються в:

- системах водопостачання і водопровідних системах;
- промисловості (системи підвищення тиску, охолодження циркуляція технологічної води);
- ТЕЦ;
- промислових системах охолодження;
- сільському господарстві (іригаційні системи);
- протипожежних системах - гідранти;
- системах для перекачування палива і агресивних субстанцій;
- хімічних системах,
- інженерії середовища.

Таблиця 3.3 – Технічні характеристики одноступінчастого насосу

Параметр	Значення
Продуктивність	до 500 м ³ /год
Висота підйому	до 95 м
Температура робочої рідини	-10...+110 °С
Робочий тиск	16 бар
Обороти	1500 MVB
Потужність двигуна	до 55 кВт
Ущільнення валу	механічне
Всмоктувальний патрубок	DN 50...200 мм
Напірний патрубок	DN 32...150 мм

Для захисту двигуна системи підгріву субстрату від гідроударів його необхідно обладнати або частотним перетворювачем або пристроєм плавного пуску. Порівнюючи використання цих пристроїв можна відмітити що частотне регулювання швидкості дає більш якісне регулювання ($\cos\varphi \sim 0.99$; реактивний струм $\sim 1\%$; регулювання швидкості, плавна крива розгону; менші експлуатаційні витрати). Використовуємо частотний привод для керування

машинним обладнанням ATV320U55N4C який розраховано на потужність електродвигуна 5.5 кВт (рис. 3.11). Використання частотного перетворювача, що в автоматичному режимі підтримує заданий тиск в системі підігріву змінюючи частоту обертання робочого колеса насоса.



Рисунок 3.11 – Частотний перетворювач ATV320U55N4C

Для керування електродвигуном мішалки також використовуємо перетворювач ATV320D15N4C, який також забезпечить захист від перевантажень при пуску мішалки та під час його роботи

3.4. Вибір алгоритму управління та розробки функціональної та структурної схеми САК

Отримана передатна функція об'єкта керування (температури субстрату) та вимоги до комплексу технічних засобів, вимагає використовувати регулятор безперервної дії.

За технічним завданням для керування температурою субстрату в біореакторі використовуємо регулюючий вентиль з сервоприводом для зміни подачі гарячої води до системи підігріву субстрату. Для підвищення якості

керування використовуємо регулятор більш складної структури (ПІД). Нагрів субстрату в біореакторі не є швидкодіючим процесом. Підтримання заданих параметрів температури субстрату можливо тільки при використанні ПІД-регулятора.

Для розробки структурно-функціональної схеми САК температурою субстрату в біореакторі (рис. 3.12) скористуємось отриманими пристроями, на якій зображено: автоматичний керуючий пристрій (АКП); виконавчий механізм (ВМ); об'єкт керування (ОК); сприймаючий елемент (СЕ); порівнювальний елемент.

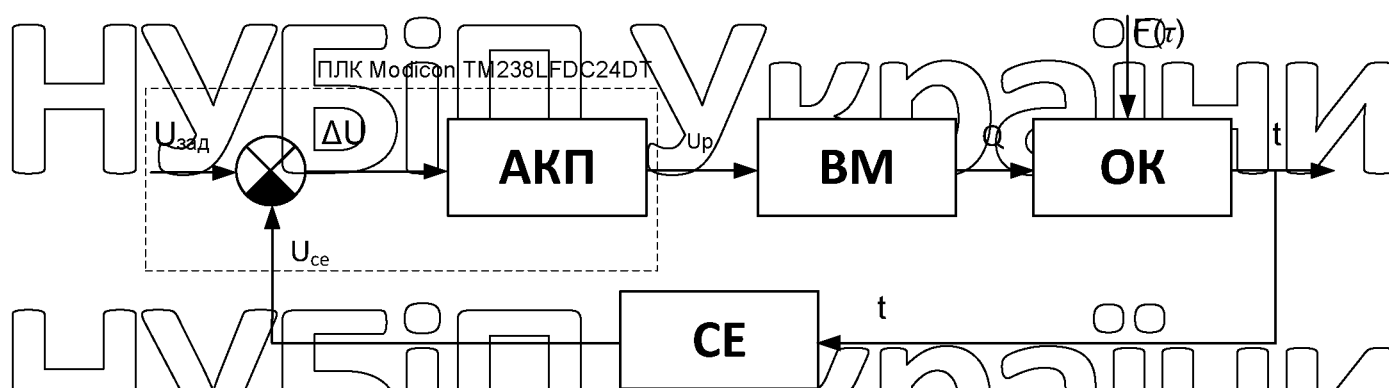


Рисунок 3.12 – Структурно-функціональна схема САК температурою субстрату в біореакторі

Маючи функціонально-структурну схему складаємо структурно-алгоритмічну схему САК температурою субстрату в біореакторі (рис. 3.13) визначивши передатні функції основних елементів схеми.

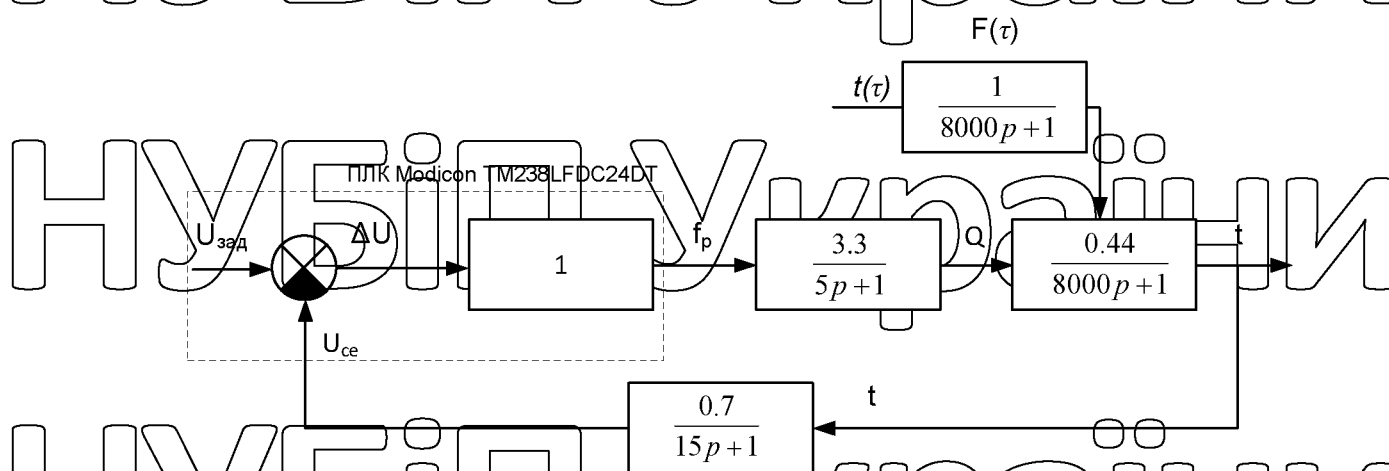


Рисунок 3.13 – Структурно-алгоритмічна схема САК температурою субстрату в біореакторі

РОЗДІЛ 4 ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Задача вибору раціонального періоду квантування T_c є однією з основних проблем реалізації цифрових систем керування. При зменшенні часу керування точність керування цифровою системою збільшується, але при цьому зростає навантаження мікропроцесора. 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_c , який задовільнив би такі суперечливі вимоги.

Згідно з теоремою Котельникова (імпульсною теоремою) 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 вхідного 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 з інтервалом:

$$T_c \leq \frac{\pi}{\omega_c} \quad (4.1)$$

У дійсності сигналів з обмеженим спектром у системах керування фізично не існує. Всі фізичні сигнали містять у собі гармоніки, які покривають діапазон частот до ∞ .

Але амплітуди високочастотних складових значно ослаблені, тому при заданій точності відтворення сигналу ми можемо вважати, що він має обмежений спектр. Тоді найвищу частоту вхідного сигналу ω_c (межу спектра) для систем без інтегруючої ланки в неперервній частині визначають як розв'язок рівняння:

$$A(\omega) = A(0)\theta \quad (4.2)$$

де $A(\omega) = |W_{zam}|$ – амплітудно-частотна характеристика неперервної частини замкненої автоматичної системи;

θ – максимально допустима похибка квантування, яка повинна бути забезпечена на виході системи (у абсолютних величинах);

$A(0)$ – значення амплітудно-частотної характеристики неперервної частини замкненої автоматичної системи при нульовій частоті $\omega = 0$ (визначає статичну похибку системи).

Для систем з інтегруючою ланкою в неперервній частині $A(0) = 1$, а

статична похибка дорівнює нулю, тому для них рівняння (4.2) має бути таким:

$$A(\omega) = \theta. \quad (4.2')$$

Тому для визначення передатної функції неперервної частини розімкнутої системи необхідно знайти доданок передатних функцій керуючого елемента (регулятор або контролер) виконавчого механізму та об'єкта керування:

$$W_{nc}(s) = W_{ke}(s)W_{vm}(s)W_{ok}(s) \quad (4.3)$$

$$W_{nc}(s) = \frac{1.002}{44000s^2 + 8006s + 1} \quad (4.3')$$

Визначаємо передатну функцію неперервної частини замкненої системи:

$$W_{zam}(s) = \frac{W_{zam}(s)}{1 + W_{zam}(s)W_{ce}(s)} \quad (4.4)$$

$$W_{zam}(s) = \frac{6.612e05 s^3 + 1.644e05 s^2 + 8036 s + 1.002}{2.904e10 s^5 + 1.25e10 s^4 + 1.667e09 s^3 + 6.445e07 s^2 + 2.164e04 s + 1.701} \quad (4.4')$$

Визначаємо амплітудно-частотну характеристику неперервної частини замкненої системи як модуль її АФЧХ:

$$A(\omega) = |W_{zam}(j\omega)| \quad (4.5)$$

Знаходимо значення амплітудно-частотної характеристики неперервної частини замкненої автоматичної системи при нульовій частоті $A(0)$.

Знаходимо праву частину рівняння (4.2) $A(0) = \theta$

Підставляючи отримані значення в рівняння (4.2) знаходимо найвищу частоту вхідного сигналу $\omega_c = 0.0115$ с (рис. 4.1).

Амплітудна характеристика

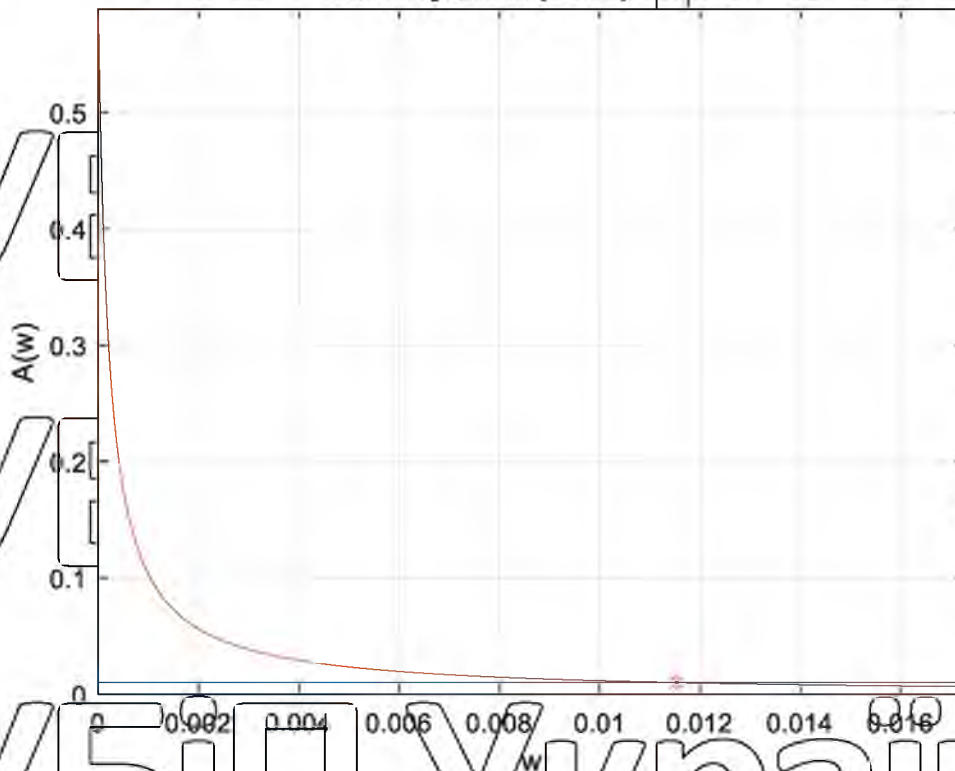


Рисунок 4.1 – Перевірка за теоремою Котельникова

Підставивши отримані вище дані розрахуємо максимально допустимий період квантування використовуючи рівняння (4.1) $T_c = 272.394$ В.

Знаходимо дискретну передатну функцію цифрової різнічної системи з отриманим за попередніми розрахунками періодом дискретизації.

Для цього за допомогою пакета MATLAB знайдемо Z-перетворення еквівалентної передатної функції з'єднання неперервної частини системи з фіксатором нульового порядку.

Обчислюємо дискретну передатну функцію замкненої системи за аналогією з рівнянням (4.4):

$$W_{\text{mz}}(s) = \frac{0.03287z + 0.0006662}{z^2 - 0.9665z} \quad (4.4'')$$

Викликаємо Simulink і у його середовищі створюємо нове робоче вікно моделі. Створюємо структурну схему системи з неперервною частиною і

повністю цифрової. Встановлюємо значення параметрів блоків схеми. Виконуємо пуск моделі (Start simulation) та отримуємо графік перехідного процесу цифрової системи.

Для оцінки стійкості цифрових систем керування необхідно визначити

характеристичне рівняння системи у Z-перетворенні:

$$a_0 z^n + a_1 z^{n-1} + a_2 z^{n-2} + \dots + a_{n-1} z + a_n = 0. \quad (4.6)$$

Умова стійкості – всі корені характеристичного рівняння (4.6) повинні знаходитись у колі одиничного радіуса на Z-площині (рис. 4.2):

для дійсних коренів – $|z_k| < 1$;

для комплексних – $\sqrt{\text{Re}^2(z_k) + \text{Im}^2(z_k)} < 1$.

Корені характеристичного рівняння на Z-площині

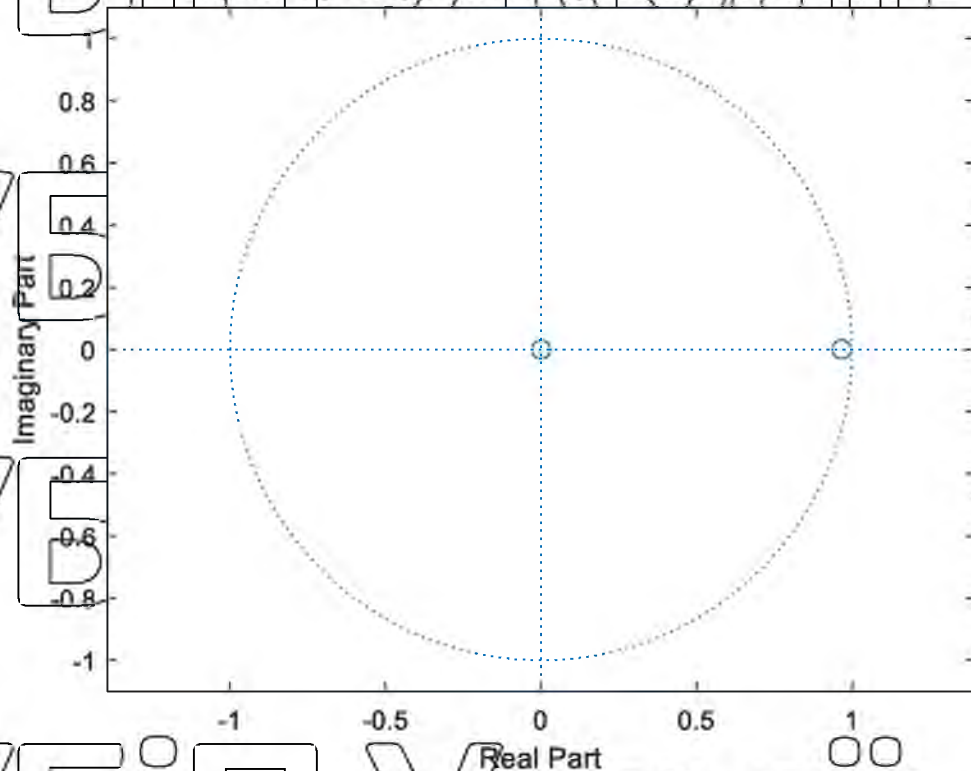


Рисунок 4.2 – Корені характеристичного рівняння на z-площині

Всі корені знаходяться в колі – тобто система є стійкою (рис. 4.2).

Для визначення коефіцієнтів ПІД регулятора (рис. 4.3), спочатку визначається параметр інтегральної складової регулятора, який залежить від добротності за швидкістю K_p неперервної частини системи.

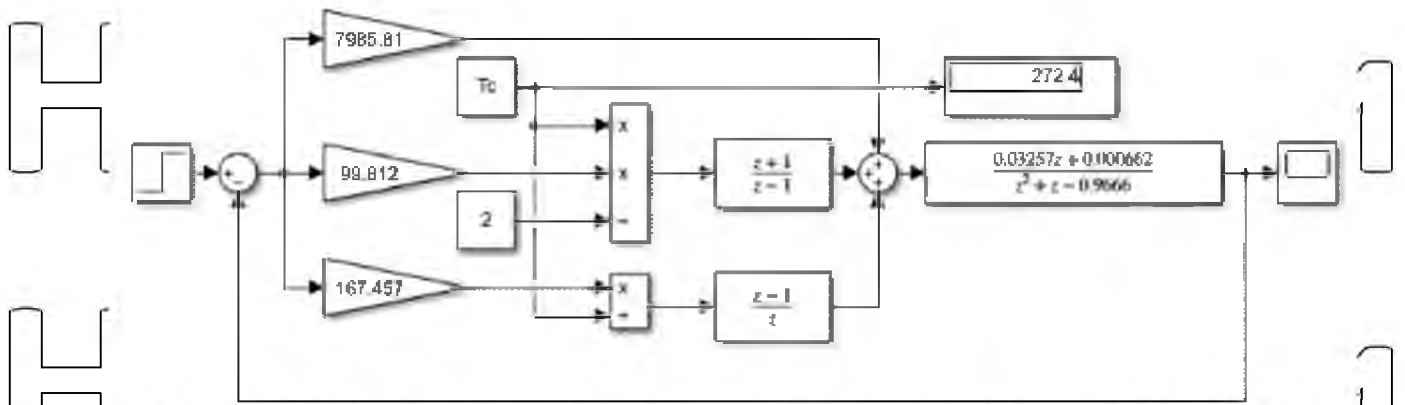


Рисунок 4.4 – Імітаційна модель в MATLAB/SIMULINK температурою субстрату в біореакторі

Графіки перехідних процесів цифрових систем

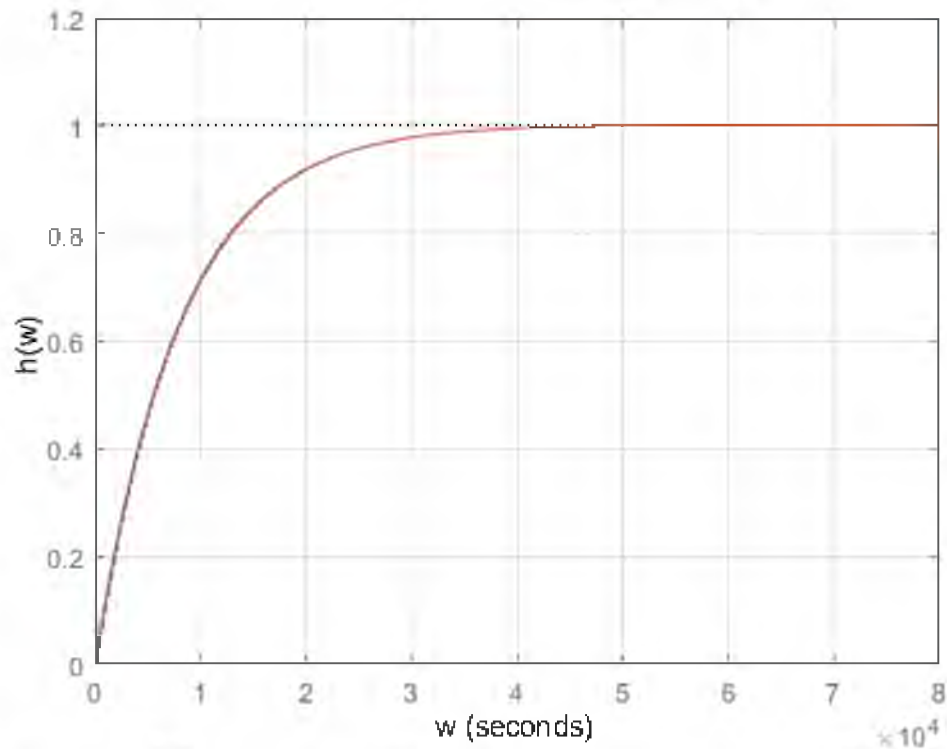


Рисунок 4.5 – Перехідний процес системи автоматичного керування температурою субстрату в біореакторі

Аналізуючи перехідний процес отримали, час регулювання 30000

секунд або 8.3 години; коливальність 0; статична похибка 0.

НУБІП України

РОЗДІЛ 5.

СХЕМИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

НУБІП України

5.1. Розробка схем погодження між зовнішніми пристроями та програмованим логічним контролером.

При підключенні датчиків температури необхідно перетворити вихідний сигнал в стандартизований 0...10 В. Для цього використовуємо конвертор PSA-02 (рис. 5.1), який приводить вихідний сигнал від TCM до стандартних значень, тобто 0...10 В.

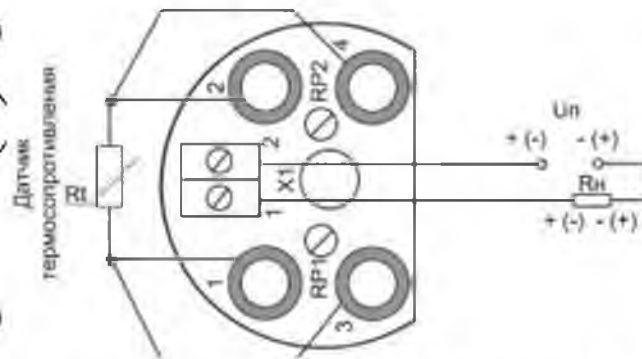
НУБІП України

НУБІП України



а)

НУБІП України



б)

Рисунок 5.1 – Зовнішній вигляд перетворювача сигналів PSA-02 (а) та його схема підключень (б)

Введення аналогових сигналів відбувається з використанням модулю TM2AMMBHT (рис. 5.2).

НУБІП України

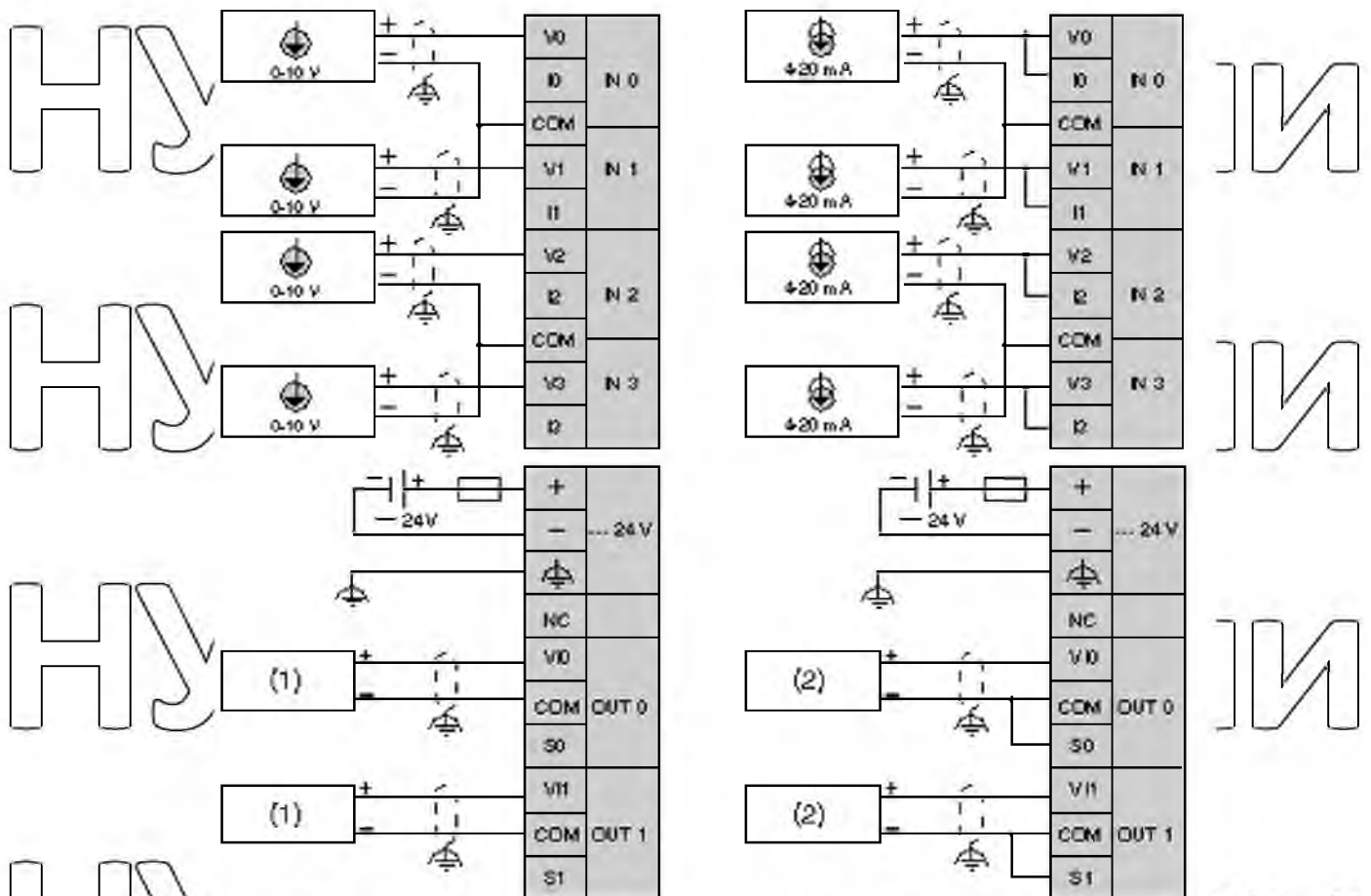


Рисунок 5.2 – Схема підключень модуля TM2AMM6HT

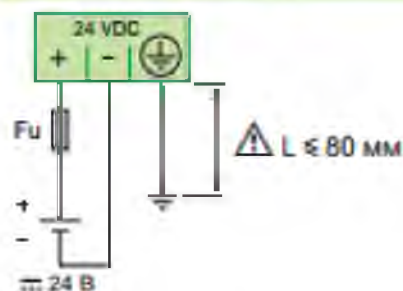
Для підключення програмованого логічного контролера M238 та частотного перетворювача ATV320 використовуємо типові електричні принципи схеми, що наведені в інструкціях щодо його монтажу (рис. 5.3-7).

Живлення 24В пост. току

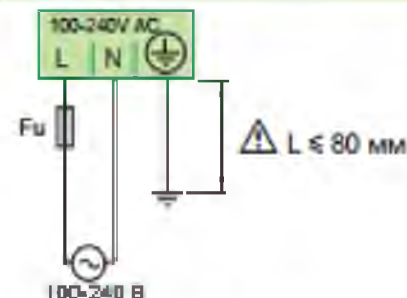
TM238 LDB24DT/LFDC24DT

Живлення току 110-240В пер. току

TM238 LDA24DR/LFAC24DR



Fu: Швидкодіючий запобіжник 2А
ABE 7FU200



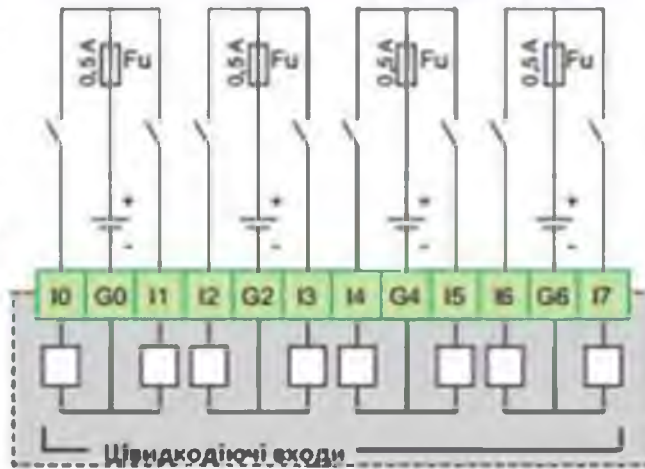
Запобіжник 2А тип T

Рисунок 5.3 – Схема підключення до джерела живлення контролера M238

Базові блоки TM238 LDD24DT/LFDC24DT, TM238 LDA24DR/LFAC24DR

Входи 24В пост. току

Швидкодіючі входи приймача (позитивна логіка)

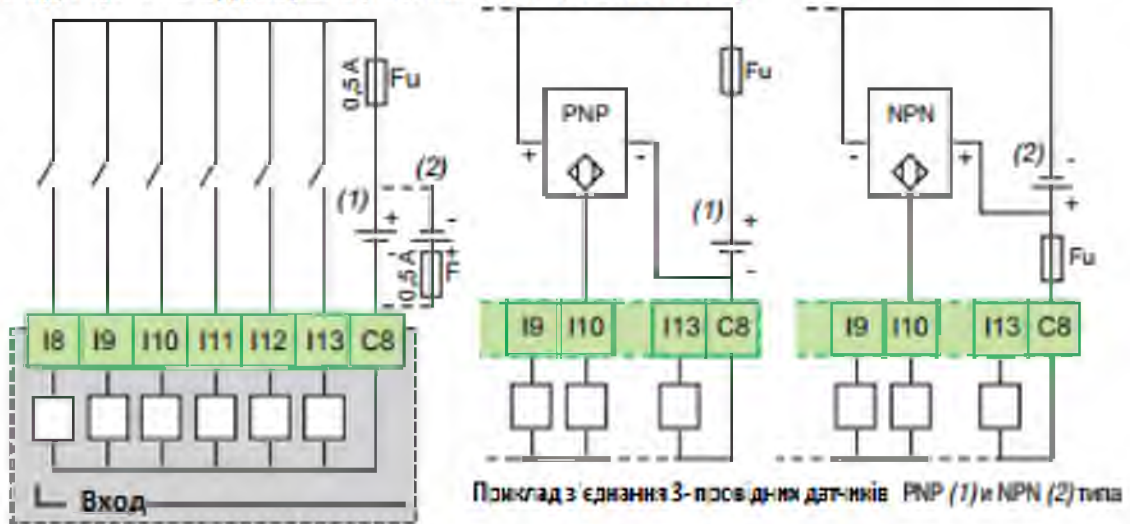


F_u Швидкодіючий запобіжник, 0,5 А

Рисунок 5.4 – Схема підключень швидкодіючого входу приймача контролера

Modicon M238 фірми Schneider Electric

Входи приймача/джерела (позитивна негативна логіка)



F_u швидкодіючий запобіжник 0,5А

(1) Входи приймача (позитивна логіка)

(2) Входи джерела (негативна логіка)

Рисунок 5.5 – Схема підключень входів приймача/джерела логічного контролера Modicon M238 фірми Schneider Electric

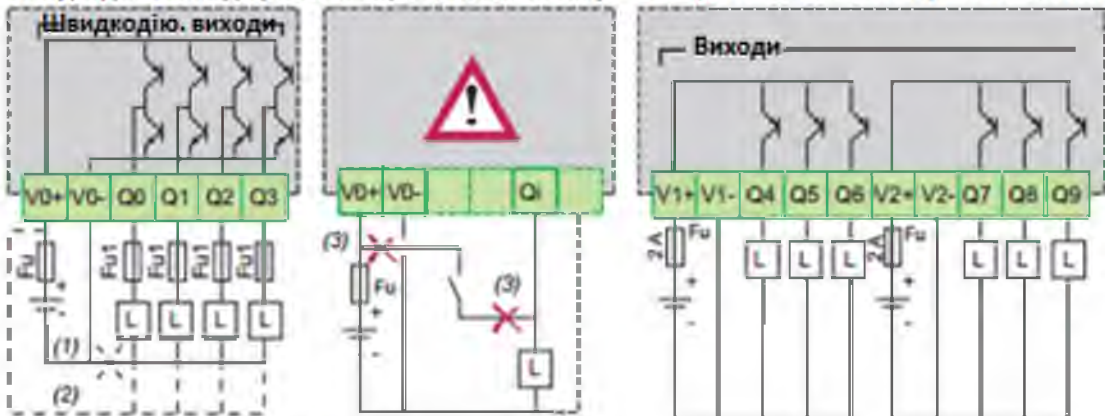
З'єднання (продовження)

Базові блоки TM238 LDD24DT/LFDC24DT

Полупроводникові виходи 24 В пост. тока

Швидкодіючі виходи (позитивна/негативна логіка)

Виходи типу "джерело" (позитивна логіка)



F_u Швидкодіючий запобіжник 2А
 F_u Швидкодіючий запобіжник 0,1А

Рисунок 5.6 – Схема підключень швидкодіючих входів контролера Modicon M238 фірми Schneider Electric

Трьохфазне живлення

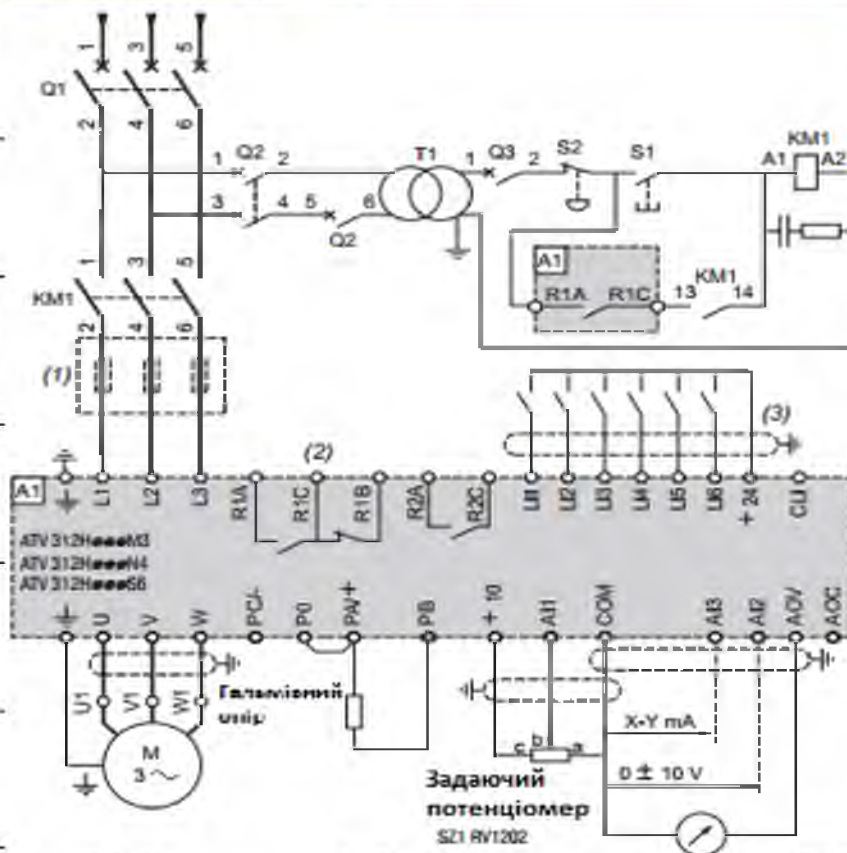


Рисунок 5.7 – Схема підключення частотного перетворювача ATV320

Введення аналогових сигналів відбувається з використанням модулю TM2AMM6HT (рис. 5.8) до якого підключено три датчика температури та електричний привод ANT3-5.11SC (рис. 5.9).

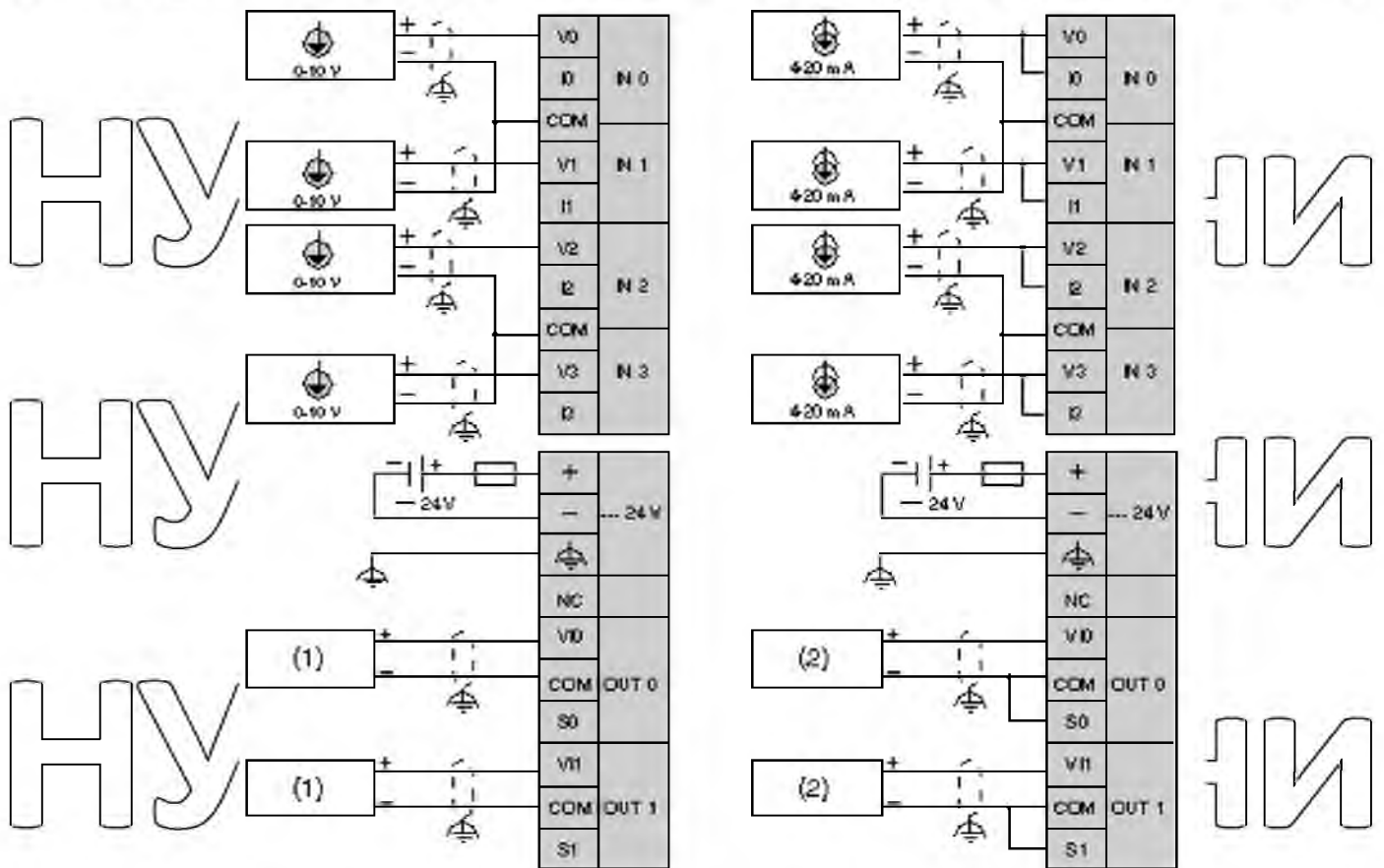


Рисунок 5.8 – Схема підключень модуля TM2AMM6HT

ANT3-5.11SC

Proportional control, 24 V AC/DC,
fail-safe function

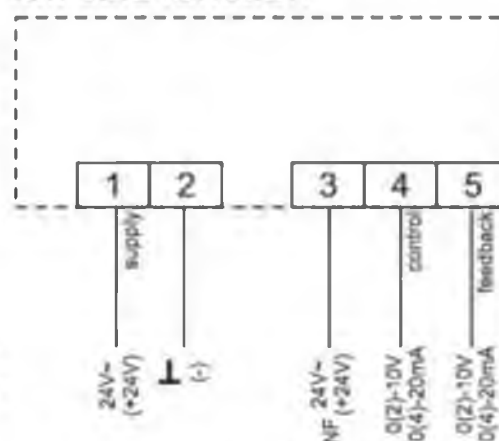


Рисунок 5.9 – Схема підключень електричного приводу ANT3-5.11SC

5.2. Розробка принципової схеми

Принципові електричні схеми – це проєктний документ, що визначає повний склад електричних елементів, зв'язків між ними та дає повне уявлення щодо принципів роботи схеми.

У загальному випадку принципові електричні схеми вміщують:

- умовні зображення елементів і зв'язків між ними;
- пояснювальні надписи;
- частини окремих елементів даної схеми, що використовують в інших схемах, а також елементи з інших схем;
- діаграми перемикачів контактів багатопозиційних пристроїв;
- передік пристроїв, засобів автоматизації та апаратури, що використовується в даній схемі;
- перелік креслень, що відносяться до даної схеми, загальні пояснення та примітки.

Принципова електрична схема умовно розділена на п'ять складових: силову частину (рис. 5.10-12); підключення програмованого логічного контролера M238 (рис. 5.13) та підключення до програмованого логічного контролера додаткових модулів (рис. 5.14) та електричних приводів.

Принцип роботи системи автоматичного керування температурою субстрату у біореакторі полягає в керуванні триходовим вентилем за допомогою програмованого логічного контролера M238.

Процес підтримання температури субстрату в біореакторі відбувається згідно біотехнологічних умов на рівні 35 °С (для мезофільних бактерій). Починається процес виконання програми в ПЛК D1.1 запуском в автоматичному режимі після вмикання автоматичного вимикача QF5. Після натискання кнопки SB1 програма вмикає частотний перетворювач U1 через проміжне реле KL1 та магнітний пускач KM1. Починається перемішування субстрату.

ПЛК вимірює температуру субстрату датчиком D1.5 після чого відкривається клапан YA1 та вмикається насос M2 подачі гарячої води який підключено з використанням перетворювача частоти U2.

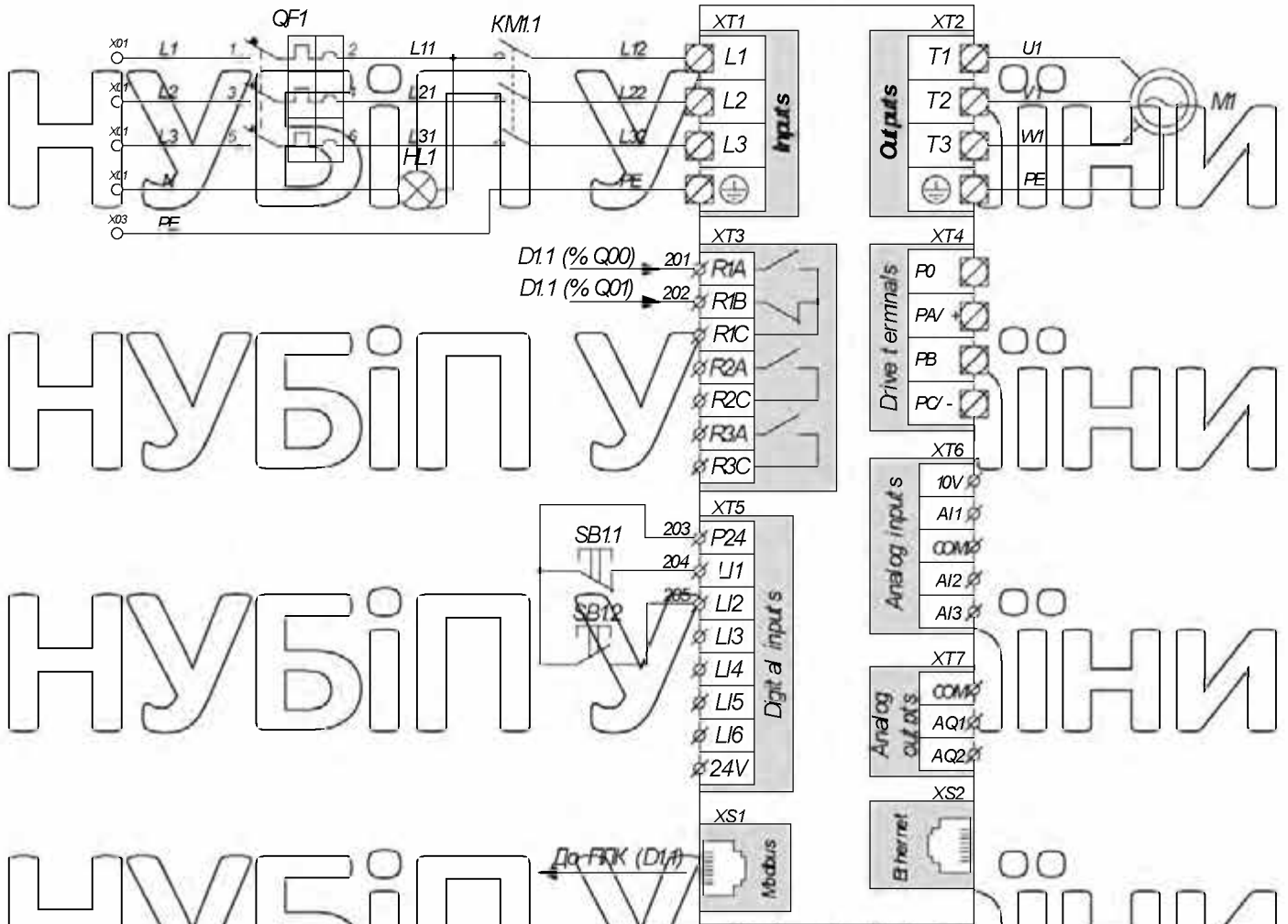


Рисунок 5.10 – Схема електрична принципова підключення двигуна мішалки до перетворювача частоти ATV320

Інформація отримані від датчиків температури субстрату D1.5 та води D1.6 опрацьовується в ПЛК та в залежності від керуючої дії ПІД регулятора подається сигнал на електричний привод трифазового вентиля D1.12 (M5).

Зміна кута відкриття цього вентиля регулює температуру теплоносія (води), що призводить до зміни температури субстрату в біореакторі. Додатково передбачено переключення до ручного режиму керування за допомогою перемикача SA1.

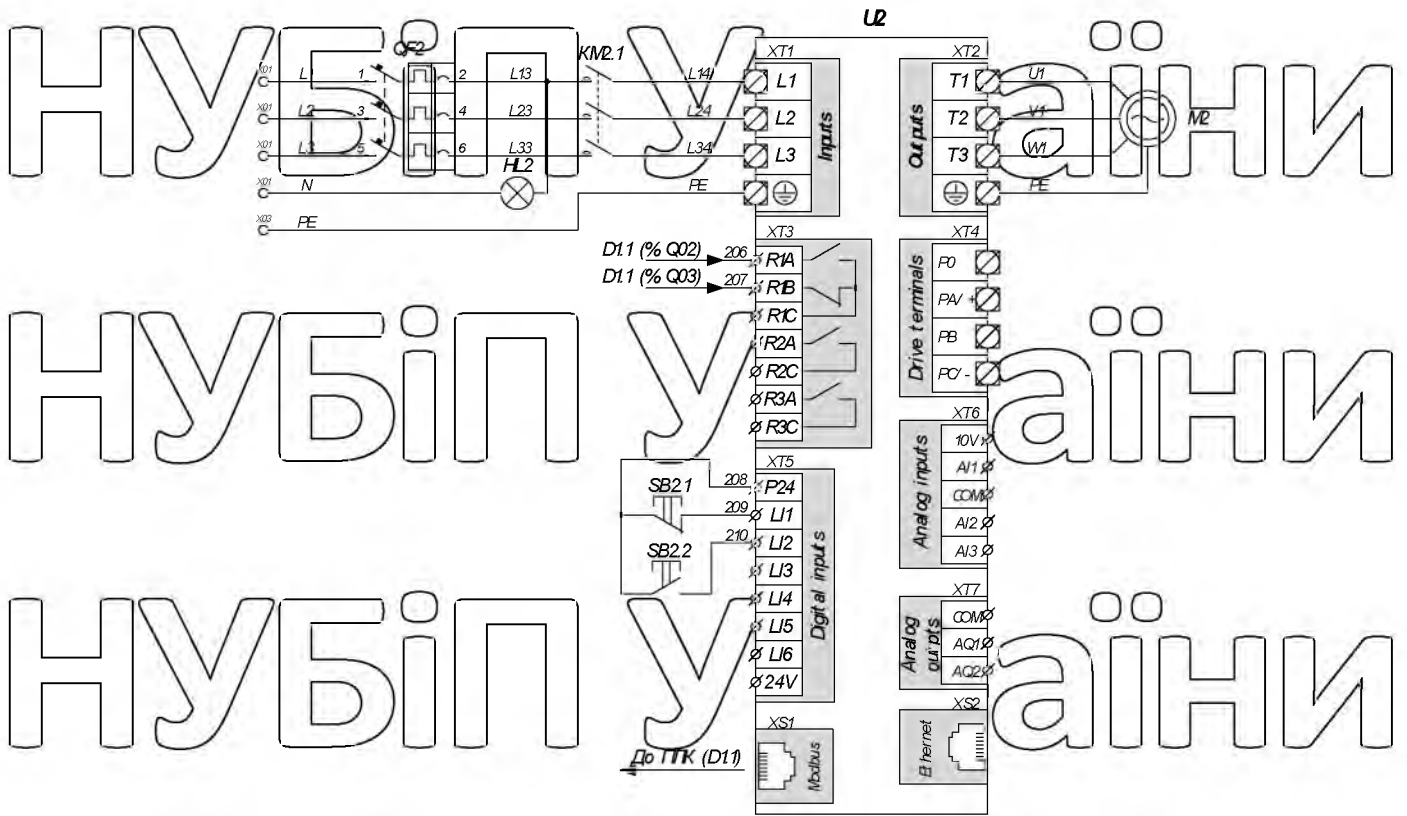


Рисунок 5.11 – Схема електрична принципова підключення двигуна насоса до перетворювача частоти АТV320

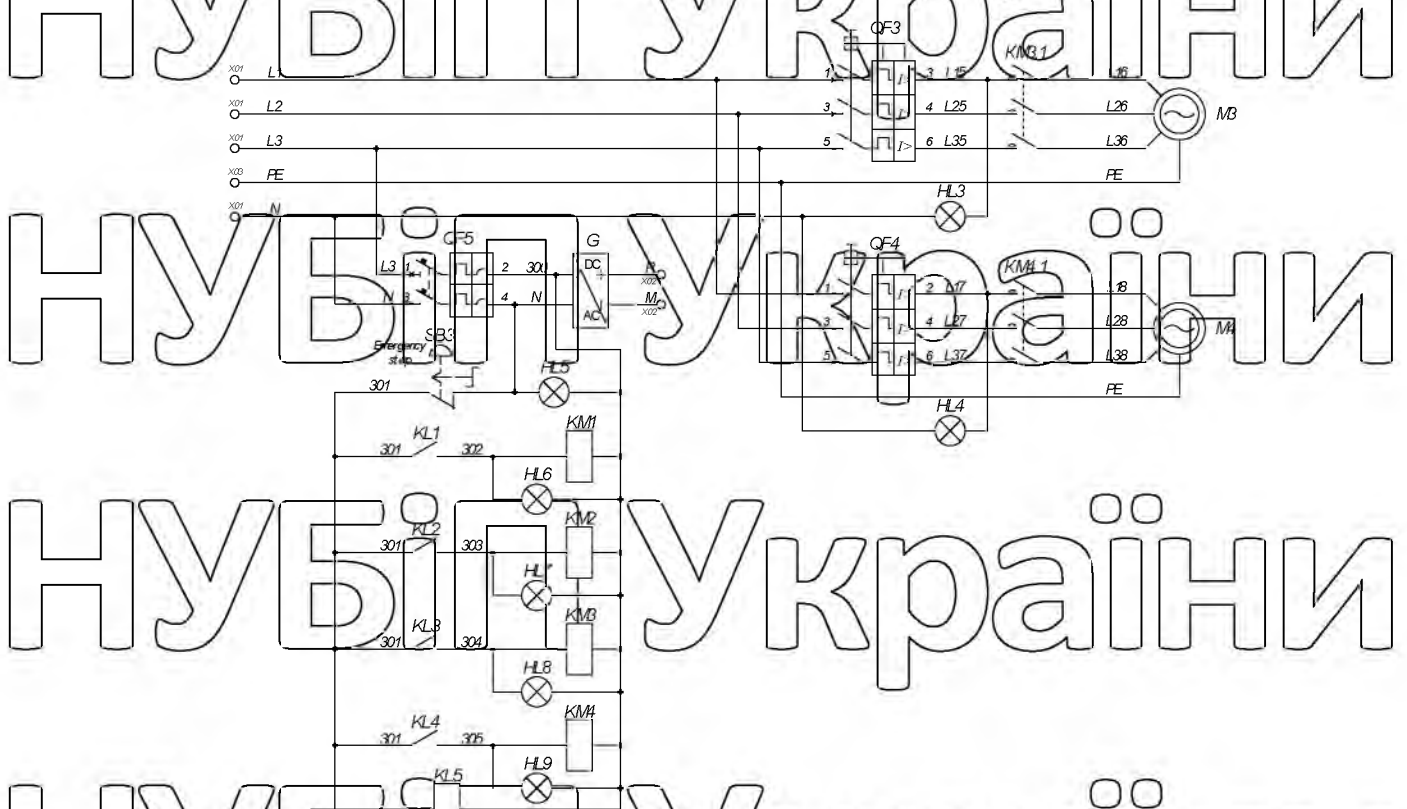


Рисунок 5.12 – Схема електрична принципова підключення двигунів засувки та вивантажувача добрив

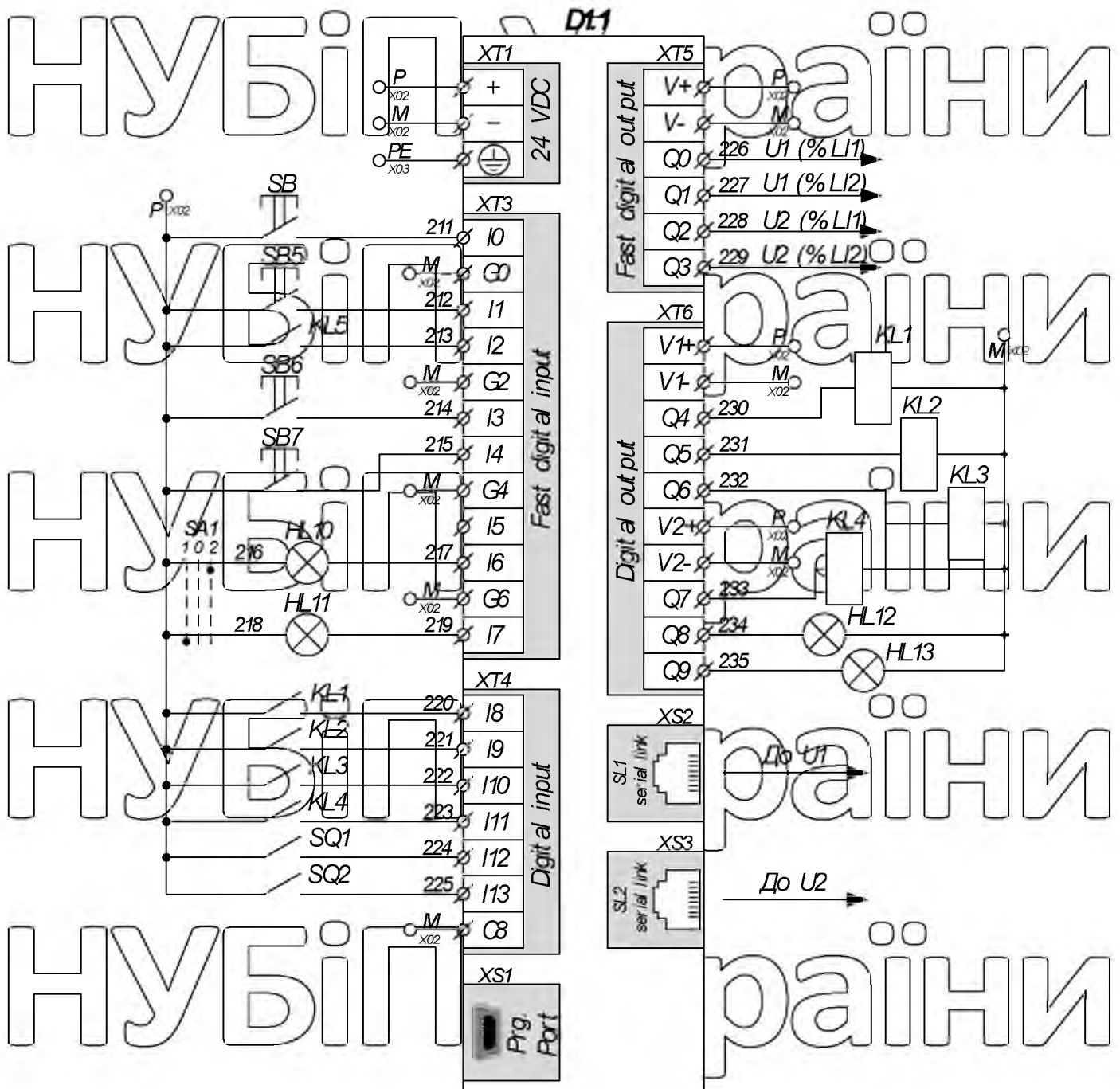


Рисунок 5.13. Принципова електрична схема САК температурою субстрату в біореакторі (ПЛК)

Програмно в ПЛК також реалізовано підтримку необхідного тиску в мережі теплопостачання використовуючи датчик тиску D1.8. Постійно для інформування СКАДА системи відбувається опитування датчиків які розміщено в верхній зоні біореактора: температури газів D1.7, вологовмісту газів D1.10 та концентрації метану D1.1. Для забезпечення безпеки

експлуатації біореактора передбачено контроль тиску газів D1.9 та спрацювання клапану YA3 для випуску газів на ззовні для зниження тиску.

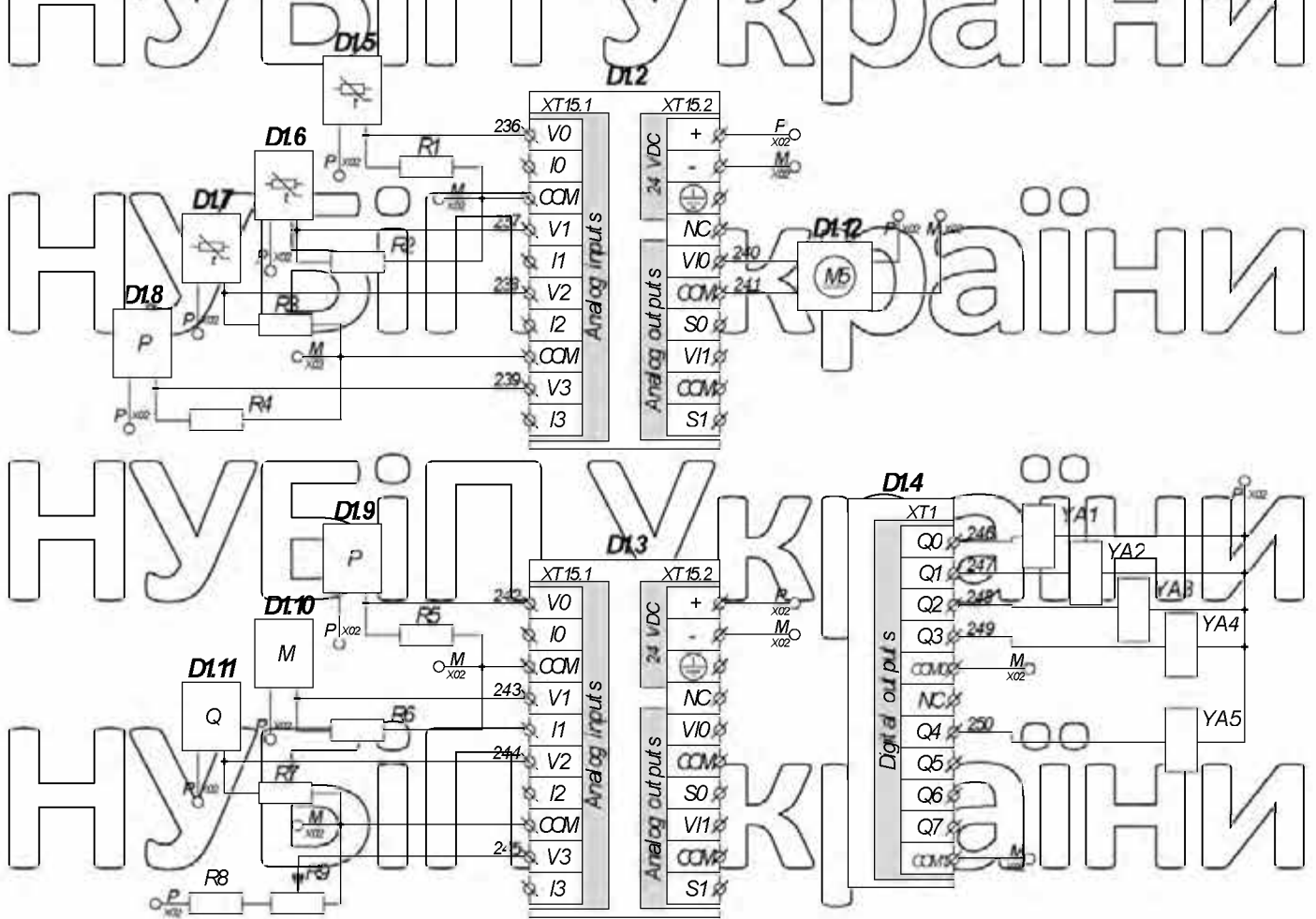


Рисунок 5.14 – Принципова електрична схема САК температурою субстрату в біореакторі (модулі розширення ПЛК та електричний привід)

5.3. Розробка схеми з'єднань

Згідно з ГОСТ 2.702-75 "Правила виконання електричних схем" схеми з'єднань це схеми, на яких зображують з'єднання складових частин установки або виробу. Вони розробляються на основі принципівих схем живлення та використовуються під час виконання монтажних і налагоджувальних робіт.

Схеми з'єднань виконую на підставі таких загальних правил:

- схеми з'єднань розробляють на один пульт, панель, станцію керування.

- усі типи апаратів, приладів та арматури, що передбачені принциповою електричною схемою, мають бути повністю відображені на схемі з'єднань;
- позиційне позначення приладів та засобів автоматизації, а також маркування ділянок кіл, що прийняті на принципових схемах, потрібно зберегти на схемі з'єднань.

Застосовують три способи виконання схем з'єднань: адресний, графічний і таблицний. Для перших двох, крім зазначених вище правил, слід виконувати ще декілька:

- щит або шафу керування розвертають в одну площину, показуючи лише ті їхні конструкції, на яких розміщуються прилади та засоби автоматизації при цьому зберігають взаємне розміщення приладів та засобів автоматизації,

- прилади та засоби автоматизації показують спрощено без збереження масштабу у вигляді прямокутників, над якими розміщують кола, розподілені ризикою навпіл; цифри над ризикою вказують порядковий номер виробу (номера присвоюються попанельно зліва направо і зверху вниз), а під ризикою позиційне позначення цього виробу (відповідно до принципової електричної схеми). За потребою показують внутрішню схему апаратів;

- для кількох реле, що розміщені в одному ряду, внутрішню схему показують один раз, якщо вона у них одна й та сама;

- умовно арабськими цифрами, що зумовлено пояснювальними надписами. Слід зазначити, що маркування проводів і позначення затискачів на схемах з'єднань є незалежними;

- платам, на яких розміщуються резистори, конденсатори та інші елементи, присвоюється лише порядковий номер (поставляється в колі над ризикою); позиційне позначення елементів розміщують у безпосередній близькості від їхнього умовного графічного позначення.

5.4. Розробка схеми підключень

Згідно з ГОСТ 2.702-75 схеми вмикання показують зовнішнє підключення апаратів, установок щитів, пультів і т.д. Схеми з'єднань виконують на підставі принципів схем живлення, специфікацій приладів і обладнання а також креслень виробничих приміщень із розміщенням технологічного обладнання та трубопроводів, використовують під час монтажу проводок, що забезпечують живлення щитів, пультів, установок, приладів та апаратів.

Практично використовують дві побудови схем підключень: графічну та табличну. Більш поширеною є графічна. При цьому умовними графічними позначення зображають: відбірні пристрої та первинні перетворювачі; щити, пульти та локальні пульти керування контролю сигналізації та вимірювання; позашитові прилади та засоби автоматизації, з'єднувальні та протяжні коробки, вільні коробки кінців терморпар, електропроводки та кабелі, що прикладаються поза щитами; вузли приєднання електропроводів і приладів, апаратів та коробок; забірну апаратуру, елементів з'єднання та відгалуження; комутаційні затискачі, розміщені поза щитами; захисне заземлення.

Шафи, пульти, окремі прилади та апарати зображають у вигляді прямокутників кіл, у середини яких розміщують відповідні надписи.

Зв'язки одного призначення на схемах підключень показують суцільні лінії, і лі в місцях приєднання для приладів виконавчих механізмів та до інших апаратів проводи розділяють, щоб провести їх маркування.

На лініях зв'язку, що означають проводи або кабелі, вказують номер проводки (підключення), марку, переріз та довжину проводів і кабелів (якщо проводка виконана в трубі, то необхідно вказати також характеристику труби).

Проводи, джгути та кабелі показують лініями товщиною 0.4...1 мм.

Схеми підключень виконують без збереження масштабу у вигляді, зручному для користування.

Для відводок до окремих електроприймачів, які працюють з постійною потужністю споживання за максимально довлі робочі струми приймають їх номінальний струм, тобто:

$$I_{н.р} = I_n. \quad (5.1)$$

Номінальні струми визначаються за формулою:

– для однофазних приймачів:

$$I_n = \frac{10^3 \cdot P_n}{U_n \cdot \cos \varphi_n}, \quad (5.2)$$

– для трифазних приймачів:

$$I_n = \frac{10^3 \cdot P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi_n}, \quad (5.3)$$

– для трифазних асинхронних короткозамкнених електродвигунів:

$$I_n = \frac{10^3 \cdot P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi_n \cdot \eta_n}, \quad (5.4)$$

де P_n – номінальна потужність споживання електроспоживання, кВт;

U_n – номінальна напруга, В;

$\cos(\varphi_n)$ – номінальний коефіцієнт потужності;

η_n – номінальний ККД електродвигуна.

Поперечний переріз струмопровідних жил проводу вибирають з умов:

$$I_{доп} \geq I_{м.п} \quad (5.5)$$

Для кабелів сигналізації та контролю важливим фактором є опір лінії:

$$R = \frac{l}{\gamma \cdot F} \quad (5.6)$$

де l – довжина лінії, км;

F – поперечний переріз;

γ – активний питомий опір проводу (для мідних проводів

$\gamma = 53 \cdot 10^6$ Ом/м; для алюмінієвих проводів $\gamma = 23 \cdot 10^6$ Ом/м).

При розробці схеми САК температурою субстрату в біореакторі використовуємо наступні правила:

- схему зв'язу розроблена на щит R5CE0664 DKC IP55;
- усі елементи QF, KM, KV, D, U було розміщено на задній панелі щита керування згідно ДСТУ «ГОСТ 2.702:2013 Единая система конструкторской документации. Правила выполнения электрических схем»;
- дотримано маркування кабелів, ліній зв'язку з використанням «ГОСТ 2.710-81, ЕСКД. Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах».

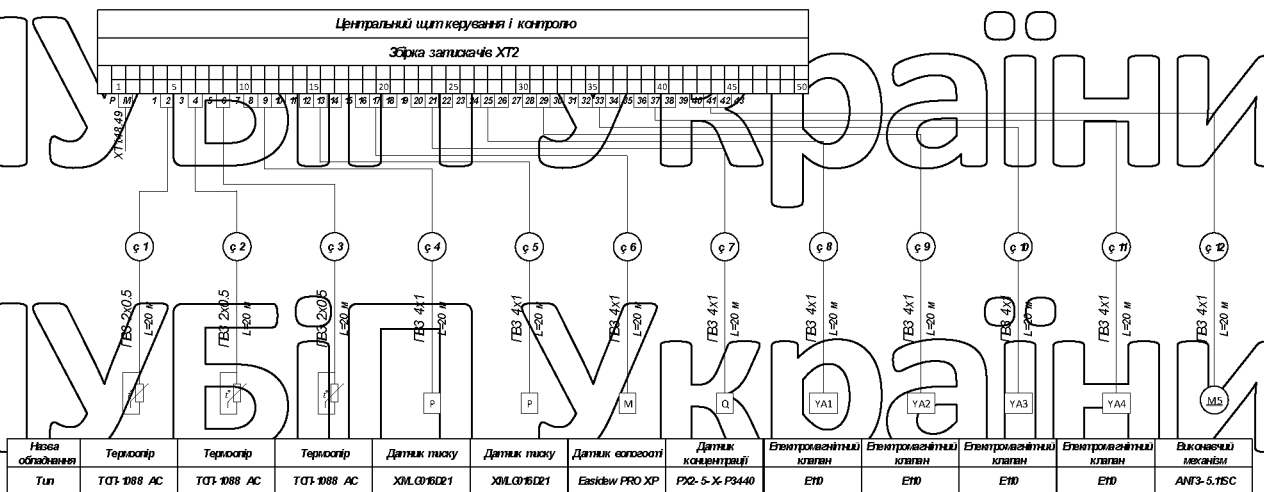
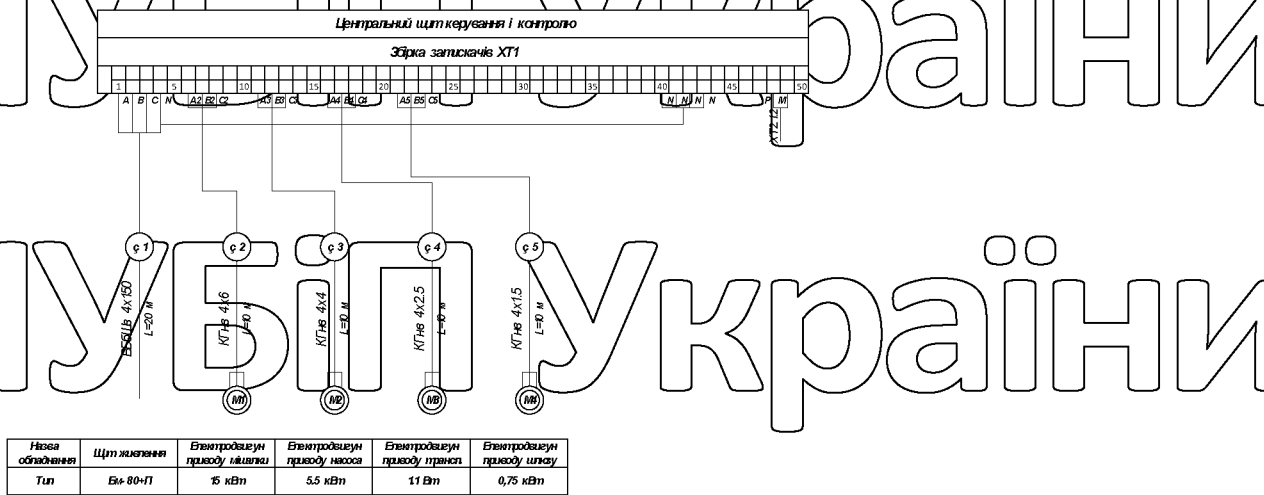


Рисунок 5.15 – Схема електрична підключень САК температурою субстрату в біореакторі

5.5. Вибір апаратури захисту та керування.

Обладнання біореактора налічує 4 електродвигуни.

Для захисту електродвигунів обираємо лінійку автоматичних вимикачів фірми Шнайдер Електрик GV2, які призначені для захисту від короткого замикання та перевантаження електродвигунів.

Вибір автоматичного вимикача QF1.

Згідно технічного завдання в схемі використовується електричний двигун для привода мішалки субстрату потужністю 15 кВт, тому для його захисту обираємо автоматичний вимикач який розрахований на:

$$U_{nd} = 400V;$$

$$I_{nd} = 31A.$$

Обираємо автоматичний вимикач GV2MES2 (рис. 5.15) з наступними

технічними характеристиками: $U_{na} = 400V$; $I_{na} = 32A$; $I_{mr} = 416A$.



Рисунок 5.15 – Автоматичний вимикач з магнітним розчиплювачем

GV2MES2

Вибір автоматичного вимикача QF2.

Згідно технічного завдання в схемі використовується електричний двигун для привода насоса потужністю 5,5 кВт, тому для його захисту обираємо автоматичний вимикач який розрахований на:

$U_{nd} = 400V$;
 $I_{nd} = 13A$.
 Обираємо автоматичний вимикач GV2ME16 з наступними технічними характеристиками: $U_{na} = 400V$; $I_{na} = 14A$; $I_{mr} = 170A$.

Вибір автоматичного вимикача QF3.
 В схемі використовується електричний двигун для приводу шнекового транспортеру для вивантаження добрив потужністю 1.1 кВт, тому для його захисту обираємо автоматичний вимикач який розраховано на:

$U_{nd} = 380V$;
 $I_{nd} = 3.5A$.
 Обираємо автоматичний вимикач з магнітним розчиплювачем GV2ME08 з наступними технічними характеристиками: $U_{na} = 400V$; $I_{na} = 4A$

$$I_{mr} = 51A.$$

Вибір автоматичного вимикача QF4.
 В схемі використовується електричний двигун для приводу шнекового затвору біореактора потужністю 0.75 кВт, тому для його захисту обираємо автоматичний вимикач який розраховано на:

$U_{nd} = 380V$;
 $I_{nd} = 2A$.
 Обираємо автоматичний вимикач з магнітним розчиплювачем GV2ME08 з наступними технічними характеристиками: $U_{na} = 400V$;

$$I_{na} = 2.5A; I_{mr} = 33.5A.$$

Вибір автоматичного вимикача QF5.
 В схемі керування в якій основними споживачами є магнітні пускачі, програмований логічний контролер та виконавчі механізми з живленням від постійного струму, обираємо двох полюсний автоматичний вимикач iK60N (рис. 5/16), з наступними технічними характеристиками: $U_{na} = 240V$; $I_{na} = 4A$

Магнітні пускачі для керування електродвигунами роздімо на дві групи за струмом навантаження.

Вибір електромагнітного пускача КМ1.

Електромагнітний пускач для керування електродвигуна для привода

мішалки повинен відповідати наступним вимогам:

$$U_n \geq 580V;$$

$$I_n > 32A;$$

$$U_k = 220V.$$



Рисунок 5.16 – Автоматичний вимикач iK60N C4 2P

Використовуючи перелічені умови обираємо електромагнітний пускач LCSD40AP7 (рис. 5.17) з наступними основними характеристиками:

$$U_n = 440V; I_n = 40A; U_k = 220V.$$

Вибір електромагнітного пускача КМ2.

Електромагнітний пускач для керування електродвигуна для приво-ду насоса повинен відповідати наступним вимогам:

$$U_n \geq 380V;$$

$$I_n > 13A;$$

$$U_k = 220V.$$

Використовуючи перелічені умови обираємо електромагнітний пускач LC1D35P7 з наступними основними характеристиками: $U_n = 440V$; $I_n = 25A$; $U_k = 220V$. Використовуємо в схемі більш потужні магнітні пускачі зв'язку з тим що немає в номіналі відповідних.



Рисунок 5.17 – Електромагнітний пускач LC1D40AP7

Вибір електромагнітного пускача KM3-4.

Електромагнітний пускач для керування електродвигунами потужністю 0.75...1 кВт повинні відповідати наступним вимогам:

$$U_n \geq 380V;$$

$$I_n > 10A;$$

$$U_k = 220V.$$

Використовуючи перелічені умови обираємо електромагнітний пускач LC1D12P7 з наступними основними характеристиками: $U_n = 440V$; $I_n = 12A$;

$U_k = 220V$. Використовуємо в схемі більш потужні магнітні пускачі зв'язку з тим що немає в номіналі відповідних.

Для захисту вихідних контактів програмованого логічного контролера використовуємо проміжні реле.

Вибір проміжних реле KLT-9.

Проміжні реле повинні відповідати наступним вимогам:

кількість контактів 3;

малий струм обмотки:

$$U_k = 24V.$$

Використовуючи перелічені умови обираємо проміжне реле MY4-NS

24V DC (рис. 5.18) з наступними основними характеристиками: кількість

контактів - 4 групи, $I_n = 2A$ при $U_n = 240V$; $U_k = 24V$.



Рисунок 5.18 – Проміжне реле MY4-NS 24V DC

Для перемикання режимів керування три ходовим вентилем використовуємо двопозиційний перемикач.

Вибір двопозиційного перемикача SAJ.

Перемикач повинен задовольняти наступним вимогам: $U_s \geq 24V$;

$I_s > 0.5A$. Обираємо двопозиційні перемикачі з нульовим положенням

XB5AD33 (рис. 5.19) з наступними основними характеристиками: $U_s = 220V$;

$$I_s = 3A.$$



Рисунок 5.19 – Двопозиційний перемикач з нульовим положенням ZB5AP33

Використовуємо кнопку без фіксації "Старт" зелену ZB5 AA33 (рис. 5.20) та кнопку "Старт-Стоп" ZB5 AW833743 (рис. 5.21).



Рисунок 5.20 – Кнопка без фіксації "Старт" зелена ZB5 AA33



Рисунок 5.21 – Кнопка "Старт-Стоп" ZB5 AW833743

5.6. Розрахунок надійності системи автоматичного керування.

Для розрахунку надійності САК температурою субстрату в біореакторі занесемо в таблицю всі елементи схеми електричної принципової САК з зазначенням інтенсивності їх відмови (табл. 5.1).

Результуюча інтенсивність відмови всіх елементів буде становити:

$$\lambda_s = 44.789 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$$

Беремо, що термін експлуатації системи становитиме $t = 1 \cdot 10^5$ год, тобто результуючу ймовірність безвідмовної роботи САК температурою субстрату в

біореакторі визначимо за виразом:

$$P_{pre-1000} = \text{EXP}(-44.789 \cdot 10^{-6} \cdot 10^5) = 0.956199219$$

Таблиця 5.1 – Розрахункові параметри САК температурою субстрату в біореакторі на надійність

№	Найменування	Кількість	Інтенсивність	Рез. інтенсивність
1	Електромеханічне реле	9	0.5	4.5
2	Контакти	14	0.25	3.5
3	Автоматичні вимикачі	5	0.13	0.65
4	Лампи	13	0.625	8.125
5	Трансформатори	3	0.17	0.51
6	Електродвигуни	5	5.24	26.2
7	Інтегральні мікросхеми	8	0.1	0.8
8	Кнопка	8	0.063	0.504
				44.789

5.7. Розробка комп'ютерно-інтегрованої системи керування температурою субстрату в біореакторі.

Для розробки комп'ютерно-інтегрованої системи керування використовуємо програмне забезпечення SCADA Trace Mode 6.10. 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 засувок (рис. 5.22).

Скремим 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 ПІД-регулятора.

Також передбачено налаштування роботи насоса і мішалки. Вся інформація з датчиків температури, тиску, вологовмісту та концентрації записується в архів

для подальшого можливого спрацювання.

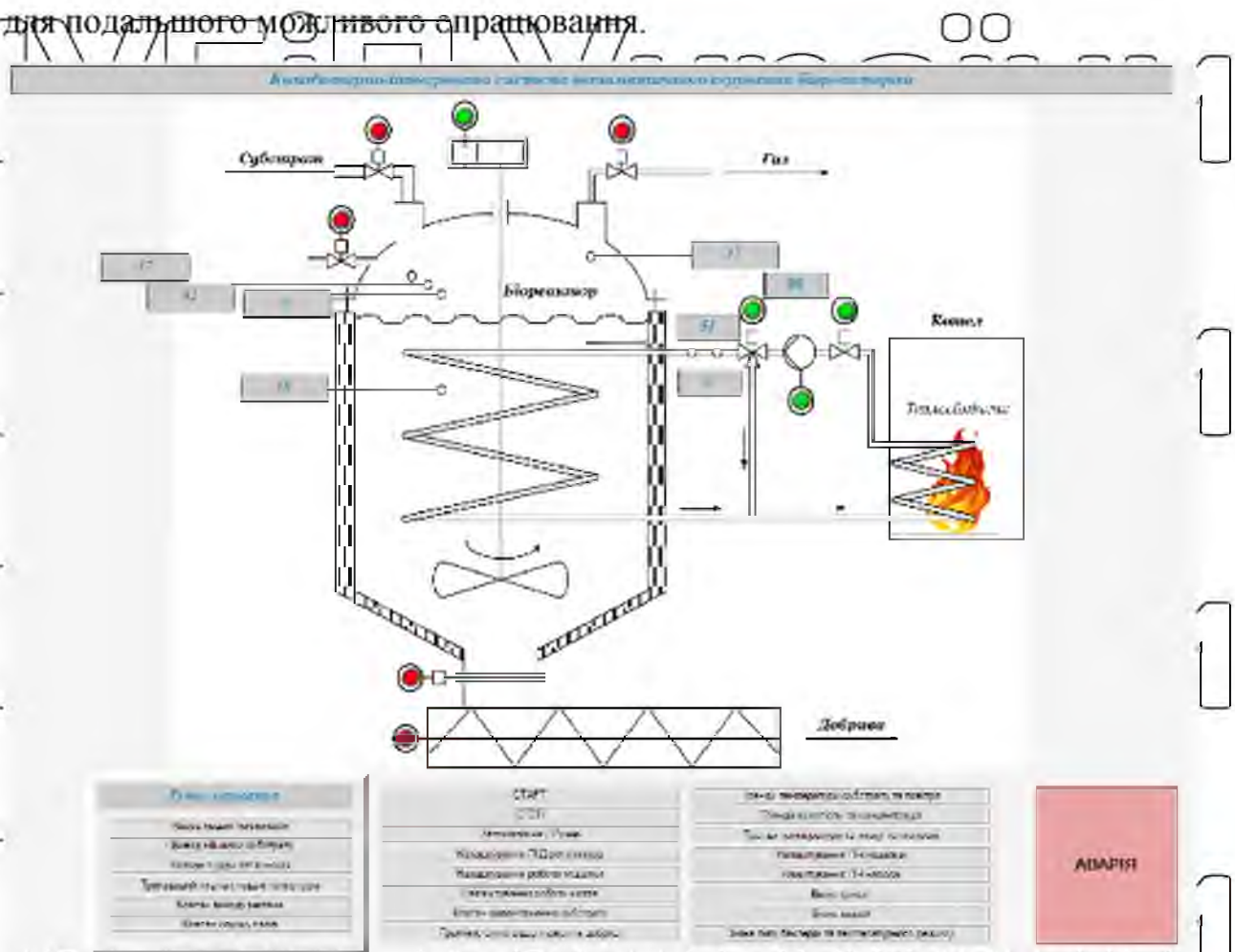


Рисунок 5.22 – Головний екран комп'ютерно-інтегрованої системи керування

температурою субстрату в біореакторі

НУБІП України

РОЗДІЛ 6.

КОШТОРИСИ РОЗРАХУНКІ

Основним завданням автоматизації технологічних процесів очистки стічних вод з використанням метантенків (біореакторів) являється зменшення кількості викидів біологічно активних речовин на відвали, підвищення продуктивності праці (зменшення витрат праці), зменшення енергозатрат та кінцевої вартості водовідведення, терміну окупності витрат на створення підприємства в цілому.

Для розрахунків використаємо стандартну методичку розрахунків терміну окупності, яка була викладена в курсі «Економіка автоматизованих виробництв в АПК» та заносимо формули та результати розрахунків в EXCEL (рис. 6.1-2).

№	Назва обладнання	Тип	Кількість	Ціна/шт	Ціна
1	Автомат захисту двигуна	GV2ME32	1	3201.60	3201.60
2	Автомат захисту двигуна	GV2ME16	1	2675.84	2675.84
3	Автомат захисту двигуна	GV2ME08	2	1675.84	3351.68
4	Вимикач автоматичний	iK60N C 2A	1	421.00	421.00
5	Частотний перетворювач	ATV320D15N4C	1	44437	44437.00
6	Частотний перетворювач	ATV320U55N4C	1	23988	23988.00
7	Програмований логічний контролер	Modicon M238	1	7954	7954.00
8	Модуль розширення	TM2AMM6HT	2	5908	11816.00
9	Модуль розширення	TWDDRA8RT	1	1506	1506.00
10	Датчик температури	TCP-1088	3	2150.00	6450.00
11	Датчик тиску	XMLG016D21	2	6054.00	12108.00
12	Датчик концентрації метану PolyXeta	Ex PX2-5-X-P3440	1	18500.00	18500.00
13	Датчик вологості	Easidew PRO XP	1	11000	11000.00
14	Виконавчий механізм	ANT3-5.11SC	1	36360	36360.00
15	Магнітний пускач	LC1D25P7	2	2068.15	4136.30
16	Магнітний пускач	LC1D12P7	3	1162.23	3486.69
17	Блок живлення постійного струму	HDR-30-24	1	760.00	760.00
18	Електромагнітний клапан	E110	4	4736.00	18944.00
19	Проміжні реле	MY4-NS 24V DC	5	112.00	560.00
20	Кнопка з фіксацією "Стоп" червона	XB2-B5542	1	94.00	94.00
21	Кнопка без фіксації "Старт" зелена	XB2-BA31	4	66.70	266.80
22	Перемикач на три положення	K1I023N1H	1	1037.00	1037.00
23	Лампа сигнальна червона 220 В	A22-RLF-RT	9	28.00	252.00
24	Лампа сигнальна зелена 24 В	AD22-22DS	4	37.00	148.00
25	Резистор	4K - 0,25W ±1%	9	2.50	22.50
26	Щит керування	ЩК1	1	2896.00	2896.00
27	Клемна збірка		2	90.00	180.00
28	Кнопка "Старт-Стоп"	ZB5 AW833743	2	180	360.00
	Всього				216912.41

Рисунок 6.1 – Загальна вартість технічних засобів автоматизації САК температурою субстрату в біореакторі

Аналізуючи отримані дані (рис. 6.2), бачимо, що прибуток складає 216912 грн., а через 3.3 роки САК температурою субстрату в біореакторі повністю окунається і вже працюватиме на чистий прибуток. Тому робимо висновок, що установка економічно ефективна і використовувати її доцільно.

Розрахункові значення	Од.	Відповідний коефіцієнт	Значення
1 Загальна вартість технічних засобів автоматизації			216912.41
2 Торгівельно-транспортні витрати		0.11	23860.3651
3 Витрати на монтаж технічних засобів		0.17	36875.1097
4 Витрати на прокладення проводок	150	17.67	2650.5
5 Інші капітальні витрати 2%		0.02	4338.2482
6 Капітальні витрати			284636.633
7 Відрахування на амортизацію		0.15	42695.495
8 Витрати на поточний ремонт		0.18	51234.5939
9 Витрати на енергоресурси		1.3	2733.12
потужність автоматизації	1.46		
кількість годин роботи	1440		
10 Витрати на оплату праці персоналу			86400
кількість персоналу	2		
ставка оператора	30		
11 Річні експлуатаційні витрати			183063.209
12 Зведені витрати		0.15	225758.704
13 Чистий прибуток			85233.6
прибуток за рахунок зменшення персоналу			84153.6
прибуток за рахунок зменшення браку			1080
економія за рахунок підвищення якості	0.01%		
14 Термін окупності САК			3.33948857

Рисунок 6.2 – Розрахункова таблиця для знаходження терміну окупності від впровадження САК температурою субстрату в біореакторі

РОЗДІЛ 7.

ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ

Біогазові установки в багатьох випадках можуть бути джерелом небезпеки:

1) Хоч біогаз ($\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$) і легше ніж повітря, але скільний до розширення. При цьому вуглекислий газ збирається ($\rho = 1,85 \text{ кг/м}^3$) внизу, в той час як більш легкий метан ($\rho = 0,72 \text{ кг/м}^3$) піднімається вгору.

Витік біогазу (як неочищеного, так і очищеного) може призвести до отруєння або задухи;

2) Біогаз в суміші з повітрям може вибухнути, якщо відсоток вмісту в загальній суміші становить більше 6% і з'являється джерело підпалу з температурою більш $700 \text{ }^\circ\text{C}$;

3) Небезпека, викликана роботою/несправністю обертових частин установки, електричних приладів, трубопроводів і резервуарів під тиском [12].

Затверджені правила техніки безпеки для біогазових установок дають великий і детальний опис техніки безпеки при поводженні з окремими будівельними елементами, комплектації технічних приміщень по спалюванню газу і розміщення генератора, прийому виконаних робіт, експлуатації та відключення установки, організації зон підвищеної небезпеки (вибухонебезпечних ділянок), запобігання нещасних випадків та ін.

Випробування та запуск біогазової установки повинні відповідати ДСТУ 7588:2014 «Сільськогосподарська техніка. Установки біогазові. Методи випробування». До цього додаються вимоги з охорони праці, оскільки на БГУ працює окремий персонал. Необхідно надати документ з вибухонебезпечними зонами, за яким можна було б визначити [13]:

– де можуть утворюватися вибухонебезпечні газові суміші і наскільки велика їх небезпека;

– які заходи здійснюються для зменшення цієї небезпеки;

схематичне зображення вибухонебезпечних зон.

Захисні дистанції орієнтуються на безпеку під час вибуху. Зона 0 належить до такої, в якій постійно існує небезпека вибуху (при нормальному робочому режимі її зазвичай не виникає на біогазових установках). Зона 1 охоплює територію, на якій час від часу виникає вибухонебезпечне середовище з різних газів (напр. навколо газових факелів). Зона 2 охоплює територію, на якій може утворитися вибухонебезпечне середовище з газів.

Загальні вимоги безпеки до виробничого обладнання встановлені згідно з ГОСТ 12.2.003-74, в якому визначені вимоги до основних елементів конструкції, органів управління і засобів захисту, які входять в конструкцію виробничого обладнання будь-якого виду і призначення.

Згідно із ГОСТ 12.1.030-81, в якості захисту від ураження людей електричним струмом застосовується заземлення. Крім того безпека експлуатації при нормальному режимі роботи забезпечується застосуванням ізолювальних пристроїв, огороженням струмоведучих частин, використанням малих напруг. Особи, що обслуговують електроустановки повинні користуватися засобами індивідуального захисту – спецвзуття, рукавиці. Засоби захисту необхідно періодично випробувати, їх слід захищати від механічних пошкоджень, впливу факторів, що погіршують їх діелектричні властивості [14].

Обов'язкова установка захисного заземлення. При виконанні робіт зі зняттям напруги встановлювати заземлення на струмовідні частини необхідно безпосередньо після перевірки відсутності напруги.

Заземлені струмовідні частини мають бути відокремлені від струмовідних частин, що перебувають під напругою, видимим розривом (вимкненими вимикачами, роз'єднувачами, відокремлювачами або вимикачами навантаження, знятими запобіжниками, демонтованими шинами або проводами). Безпосередньо на робочому місці заземлення додатково встановлюється в тих випадках, коли ці частини можуть опинитися під наведеною напругою (потенціалом), яка може викликати ураження струмом,

або коли на них може бути подана напруга понад 42 В змінного і 110 В постійного струму від стороннього джерела [12].

При роботі на біогазовій установці необхідно дотримуватися вимог гігієни праці і виробничої санітарії, контролювати дотримання норм мікроклімату, освітлення, шумів та вібрацій.

Параметри мікроклімату, що нормуються: температура (t , °C) і відносна вологість повітря (W , %), швидкість його переміщення (м/с), потужність теплових випромінювань ($Вт/м^2$). Допустимі відхилення наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 Вимоги до мікроклімату

Період року	Категорія робіт	Допустима температура на робочих місцях, °C		Допустима відносна вологість на постійних та непостійних робочих місцях	Допустима швидкість руху кисню на постійних та непостійних робочих місцях, м/с
		Постійних	Непостійних		
Холодний	Середньої важкості ІІБ	15-21	13-23	75	не більш 0,4
Теплий	Середньої важкості ІІБ	16-27	15-29	70 при 25°С	0,2-0,5

Джерелами виробничого шуму та вібрацій можуть бути двигуни, вентилятори, насоси. Захист від шуму повинен досягатись розробкою шумобезпечної техніки застосуванням засобів індивідуального захисту, а також будівельно-акустичними методами. Основні технічні заходи по зменшенню шуму та вібрацій [14]:

- правильність проектування масивних фундаментів під віброактивне обладнання (деребарки та ін.) з урахуванням динамічних навантажень;
- застосування віброзатримуючих гнучких вставок на вихлопі з нагнітачів;
- застосування вібропоглинаючого резинового покриття;
- звукоізоляція шумних машин кожухами;

ВИСНОВКИ

В магістерській роботі було проведено дослідження метантака (біореактора), як об'єкта керування та розроблено систему автоматичного керування температурою субстрату в біореакторі з використанням технічних засобів фірми Шнейдер Електрик.

Досліджено математичну модель та отримано передатну функцію температурою субстрату в біореакторі.

Розраховано цифровий ПІД регулятор який має відсутність перерегульованості та коливальності та час регулювання становитиме 3.3 години.

В магістерській роботі використано програмований логічний контролер TM238LFDC24DT, який програмно реалізує ПІД алгоритм керування в САК температурою субстрату в біореакторі.

Розроблено схему електричну принципову САК температурою субстрату в біореакторі та оцінено ймовірність безвідмовної роботи, яка склала 0,956.

Розроблено комп'ютерно-інтегровану систему керування біореактором, яка головний екран на якому можна виконувати керування всім устаткуванням в автоматичному та ручному режимах, отримувати тренди та слідкувати за аварійними станами роботи біореактора.

Проведено техніко-економічне обґрунтування САК температурою субстрату в біореакторі, яке в результаті якого визначено, що через 3.3 роки установка повністю окупається і вже працюватиме на чистий прибуток.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Канализация. Издание пятое, переработанное и дополненное / Яковлев С.

В. Канализация. Учебник для вузов / С. В. Яковлев, Я. А. Карелин, А. И.

Жуков, С. К. Колобанов. – М.: Стройиздат, 1975. – 632с.

2. Фізико-хімічне та біологічне очищення висококонцентрованих стічних вод / Саблій Л. А.; Монографія. – Рівне: НУВГП, 2013. – 291 с.

3. Анцыпович Н.С. Охрана природы на предприятиях мясной и молочной промышленности. – М.: Агропромиздат, 1986. – 286 с.

4. Каналізація. Зовнішні мережі і споруди. Основи положення проектування: ДБН В.2.5 – 75:2013. – Замість СНиП 2.04.03-85; чинний від 2014-01-01. – К: Міністерство регіонального розвитку, будівництва

та житлово-комунального господарства України, 2012. – 207 с.

5. Саблій Л.А. Фізико-хімічне та біологічне очищення висококонцентрованих стічних вод: автореф. дис. д-ра техн. наук / Л.А. Саблій. – Київ, 2011. – 40 с.

6. Шустер К., Нойберт И. Анаэробная обработка высококонцентрированных стоков молочных предприятий // Экология производства. – 2009. – №11. – С.50-52.

7. Анализ методов очистки высококонцентрированных сточных вод предприятий пищевой промышленности / Г.И. Благодарная, А.А.Шевченко, С.В.Лунин Харьков: Харьковская национальная академия городского хозяйства, ООО «Пэнэко», 2009.

8. Корчик Н.М. Технологии очистки сточных вод предприятий пищевой промышленности // Материалы IV междунар. конф. «Сотрудничество для решения проблемы отходов». – Харьков, 2007. – С.251-254.

9. Жукова В. С. Очищення стічних вод від сполук азоту з використанням

10. іммобілізованих мікроорганізмів: дис. канд. тех. Наук / Жукова В.С. – Київ, 2013. – 145 с.

11. Котов Б. І., Панцир Ю. І., Герасимчук І. Д., Грищенко В. О. Математичне моделювання нестационарних теплових режимів біореактора безперервної і періодичної дії. *Енергетика і автоматика*. 2019. Вип. 3, № 3. С. 25–37.

12. Любін М. Основи запуску та експлуатації біогазових установок для фермерських господарств / М. Любін, О. Цуркан, Д. Токарчук // *Збірник наукових праць ВНАУ*. – 2012. – №10. – С. 69–76.

13. ДСТУ 7588:2014 «Сільськогосподарська техніка. Установки біогазові. Методи випробування».

14. Веденев А. Г., Маслов А. Н. Строительство биогазовых установок. Краткое руководство. – Б.: «Евро», 2006. – 28 с.

