

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

УДК 004.8; 681.5

ПОГОДЖЕНО

Директор Інституту енергетики,
автоматики і енергозбереження
(назва Інституту)

В.В. Каплун

(підпис)

(ПІБ)

« » 2023 р.

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

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

В.П. Лисенко

(підпис)

(ПІБ)

« » 2023 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему «ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА ЕКСПЕРТНОЇ СИСТЕМИ
КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ОЧИСТКИ СТІЧНИХ ВОД НА
ПЛАХОФАБРИЦІ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ КОМПЛЕКСУ
ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ SIEMENS»

Спеціальність: 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
(шифр і назва)

Освітня програма: Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(назва)

Орієнтація освітньої програми: освітньо-професійна

Гарант освітньої програми

Д.Т.Н., проф.

(науковий ступінь та вчене звання)

І.М. Болбот

(підпис)

(ПІБ)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

К.Т.Н., доц.

(науковий ступінь та вчене звання)

А.О. Дудий

(підпис)

(ПІБ)

Виконав

Б.В. Нечипоренко

(підпис)

(ПІБ студента)

КІТБ – 2023

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
НИ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

автоматики та робототехнічних

систем ім. акад. І.І. Мартиненка

В.Н. Лисенко

2023 р.

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ

Нечипоренку Богдану Вадимовичу

(прізвище, ім'я, по-батькові)

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

Освітня програма: Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Орієнтація освітньої програми: освітньо-професійна

Тема магістерської роботи **«ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА
ЕКСПЕРТНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ОЧИСТКИ**

С

Затверджена наказом від 06.03.2023 року № 323 «С»

Термін подання студентом магістерської роботи 03.11.2023

Вихідні дані до магістерської роботи: завдання кафедри на виконання магістерської роботи; нормативні документи по проектуванню об'єктів автоматизації; матеріали дослідження та аналізу; наукова література з тематики магістерської роботи.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

Аналіз технологічного процесу.

Дослідження аеротенка, як об'єкта автоматизації.

Визначення алгоритму керування насосами в аеротенку та розрахунок параметрів налаштування регулятора.

Дослідження системи автоматизації.

Схеми системи автоматизації.

б. Техніко-економічне обґрунтування.

Дата видачі завдання 06.03.2023

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи _____

Дудник А.О.

(Підпис)

(Прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання _____

(Підпис)

(Прізвище та ініціали)

Нечипоренко Б. В.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	7
1.1. Характеристика очистки стічних вод на птахофабриці	7
1.3. Класифікація забруднень стічних вод	11
1.4. Склад стічних вод птахофабрик	14
1.5. Методи очистки стічних вод	15
1.6. Технологічна схема очистки стічних вод	19
1.7. Розробка функціональної-структурної схеми автоматизації	23
РОЗДІЛ 2 ПОБУДОВА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТА УПРАВЛІННЯ	29
2.1. Розробка математичної моделі	29
2.2. Розроблення імітаційної моделі в середовищі ПІПІ Simulink	30
2.3. Результати моделювання	31
РОЗДІЛ 3 ОБГРУНТУВАННЯ ТА ВИБІР АЛГОРИТМУ КЕРУВАННЯ ОБ'ЄКТОМ, АНАЛІЗ ЯКОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ АВТОМАТИЧНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ	35
3.1. Вибір та обґрунтування алгоритму керування	35
3.2. Вибір сприймаючих елементів	37
3.2.1 Вибір датчика температури	37
3.2.2 Вибір датчика електропровідності	38
3.3. Реалізація алгоритму керування	40
3.3.1. Визначення періоду дискретизації	41
3.3.2. Налаштування ПІД – регулятора	43
3.4 Вибір керуючого елемента	48
3.4.1 Вибір ПЛК	48
3.4.2 Вибір частотного регулятора	49
3.4.3 Вибір панелі керування	53
3.4.4 Вибір керованого комутатора	55
3.5. Дослідження системи автоматичного регулювання очистки стічних вод на птахофабриці	57
РОЗДІЛ 4 СИНТЕЗ НЕЙРОІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ, РОЗРОБКА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ	59

4.3 Розробка інтелектуальної системи	71
РОЗДІЛ 5 ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНА ЧАСТИНА	76
5.1 Вибір електротехнічних пристроїв	76
5.1.1. Вибір насосу	76
5.1.2. Вибір автоматичних вимикачів	78
5.1.3. Вибір магнітних пускатів	81
5.1.4. Вибір проводів керуючої мережі	83
РОЗРАХУНОК ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ	87
ВИСНОВКИ	91
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	92

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ВСТУП

Серед низки важливих науково-технічних аспектів розвитку промисловості, автоматизація виробничих процесів та виробництво виступає однією з ключових проблем. Автоматизація виробництва - це еволюція машинного виробництва, де функції контролю та регулювання, раніше виконували люди, передаються автоматичним пристроям і обладнанню.

Головною метою автоматизації є інтенсифікація виробництва через впровадження новітніх наукових та технічних досягнень, скорочення технологічних переходів, впровадження безперервних виробничих схем, подальший розвиток механізації та автоматизації. У контексті науково-технічного прогресу, автоматизація виступає як один із двигунів промислового розвитку. Вона сприяє вдосконаленню технологій, автоматизації виробничих процесів і створює передумови для розробки складних та високопродуктивних процесів, які були б неможливі без автоматизації.

У сучасних умовах, харчова промисловість повинна створювати виробничі підприємства з високим рівнем автоматизації для виробництва продукції великого масштабу. Це включає вдосконалення систем планування та управління якістю продукції, технологічними процесами та комп'ютерним виробництвом.

Автоматизація технологічних процесів та виробництва належить до найважливіших завдань у цій галузі.

Розвиток автоматизації в бізнесі можна розділити на три напрями. Перший - це розробка нових пристроїв та засобів автоматизації. Другий - це створення систем автоматичного регулювання та управління, включаючи використання мікропроцесорів та мікрокомп'ютерів. Третій - це створення автоматизованих систем для управління технологічними процесами з використанням міні- та мікрокеруючих комп'ютерів.

На сучасному етапі розвитку харчової промисловості, де основним є безперервний технологічний процес з використанням основного обладнання, існують всі передумови для повної автоматизації технологічних процесів. Підвищення продуктивності праці, розробка нових технологій для покращення

якості та ефективності виробництва, вимагають використання передових методів управління та автоматизації. Автоматизація технологічних процесів є ключовим засобом досягнення цих цілей.

Метою цього **дипломного проекту** є зменшення споживання енергії та підвищення ефективності очищення стічних вод на птахофабриці шляхом розробки системи автоматичного регулювання, в якій використовуються різні технічні засоби Siemens.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1. Характеристика очистки стічних вод на птахофабриці

Очистка стічних вод на птахофабриці - це процес, спрямований на видалення забруднень зі стічних вод, які утворюються внаслідок виробничих процесів та утримання птахів. Ця процедура важлива для забезпечення дотримання екологічних та санітарних норм і зменшення впливу птахофабрик на навколишнє середовище [34].

Стічні води з птахофабрики збираються в спеціальних резервуарах та системах збору, які забезпечують їхнє безпечне зберігання та транспортування до очисних споруд. На початковому етапі стічні води піддаються попередній очистці для видалення грубих твердих забруднень, таких як пір'я, послід, неперетравні залишки і інші відходи. Ця очистка допомагає запобігти засміченню і пошкодженню обладнання в подальшому [32].

Основною частиною процесу очистки є біологічна очистка, де використовуються спеціальні біологічні споруди, такі як активні мулові споруди або біофільтри. Мікроорганізми, зокрема бактерії, розкладають органічні забруднення у воді, перетворюючи їх на менш шкідливі речовини. У деяких випадках, де біологічна очистка не забезпечує відповідного рівня очищення, застосовується хімічна очистка. Це включає в себе додавання хімічних реагентів, таких як коагулянти або флокулянти, для видалення певних забруднень з води [31].

Після основних етапів очистки, стічні води можуть піддаватися дезінфекції для видалення патогенних бактерій і мікроорганізмів. Для цього може використовуватися хлор або інші дезінфікуючі засоби.

Птахофабрики зобов'язані проводити систематичний моніторинг та аналіз якості очищених стічних вод, щоб переконатися, що вони відповідають стандартам і нормативам, встановленим законодавством.

Очищені стічні води відводяться в природне середовище або в місцеву каналізаційну систему відповідно до дозволів та вимог місцевих регулювальних органів.

Забезпечення ефективної очистки стічних вод на птахофабриці є важливою для дотримання нормативів щодо захисту навколишнього середовища та забезпечення безпеки громадського здоров'я.

Діяльність птахофабрик може мати значний вплив на навколишнє середовище через велику кількість відходів та забруднень, які утворюються в процесі утримання та вирощування птахів. Неадекватна очистка стічних вод може спричинити забруднення водних ресурсів, зниження якості ґрунтів та загрозу здоров'ю природи.

В Україні розвивають ініціативи щодо використання відновлюваних джерел енергії для зменшення впливу на навколишнє середовище. Вони можуть встановлювати сонячні панелі, використовувати біогаз або інші методи для забезпечення енергетичних потреб фабрики та систем очистки стічних вод.

Деякі птахофабрики впроваджують сучасні технології для покращення ефективності очистки стічних вод. Це може включати в себе використання автоматизованих систем моніторингу та керування, які дозволяють точно контролювати процес очистки [31].

Україна має законодавство та регулюючі органи, які встановлюють норми та стандарти для очистки стічних вод на птахофабриках. Птахофабрики зобов'язані отримувати дозволи на скидання стічних вод та дотримуватися вимог щодо якості очищення.

Споживання води є важливою частиною діяльності птахофабрик, і багато з них вдосконалюють системи управління водними ресурсами, щоб зменшити споживання води та мінімізувати втрати.

Окрім очистки стічних вод, птахофабрики також займаються обробкою та використанням інших відходів, таких як підстилка та гною, з метою зменшення впливу на навколишнє середовище і підтримки ефективного використання ресурсів [31].

Ці нововведення та покращення допомагають підприємствам зменшити свій екологічний відбиток та забезпечити більш ефективну та сталу очистку стічних вод.

1.2. Вплив стічних вод на довкілля: аналіз впливу стічних вод на навколишнє середовище та здоров'я людини

Стічні води, які викидаються в навколишнє середовище без належної обробки та очищення, можуть мати серйозний вплив на довкілля та здоров'я людини.

Вплив стічних вод на навколишнє середовище:

1. Забруднення водних ресурсів: Стічні води містять різні забруднюючі речовини, включаючи органічні речовини, хімічні сполуки, бактерії та віруси. Після їх викиду в природу ці забруднюючі речовини можуть негативно впливати на водні ресурси, включаючи річки, озера та підземні води. Забруднення води може призвести до погіршення якості води, зниження рівня розчищеності води та загрози водним екосистемам [30] (див. рис. 1.1.).
2. Зміна біорізноманіття: Забруднені стічні води можуть мати вплив на біорізноманіття водних екосистем. Зокрема, підвищені рівні забруднюючих речовин можуть призвести до вимирання деяких видів, змінити екологічні взаємодії водних організмів та вплинути на екосистеми [6].
3. Забруднення ґрунту: Якщо стічні води потрапляють в ґрунт, вони можуть забруднювати цей середовищний компонент. Токсичні речовини можуть накопичуватися в ґрунті, знижуючи його родючість та роблячи його непридатним для сільськогосподарського використання [6].
4. Порушення водних екосистем: Забруднені стічні води можуть порушити нормальну функцію водних екосистем. Наприклад, підвищені рівні азотних сполук можуть призвести до еутрофікації, що

сприяє росту водоростей та інших водних рослин, порушуючи екологічну рівновагу.



Рис. 1.1). Наслідки забруднення стічними водами водних ресурсів

Вплив стічних вод на здоров'я людини:

1. Загроза інфекціями: Неочищені стічні води можуть містити патогени, такі як бактерії та віруси, які є причиною багатьох інфекційних захворювань. Наприклад, неочищені стічні води можуть бути джерелом інфекційних захворювань, таких як гастроентерит, дизентерія, тиф, холера тощо [4].
2. Токсичні хімічні речовини: Стічні води можуть містити токсичні хімічні речовини, такі як важкі метали (свинець, ртуть), хлороорганічні сполуки та інші токсини. В деяких випадках, ці речовини можуть виробляти токсичний вплив на органи та системи організму людини, що призводить до серйозних захворювань [30].
3. Загроза для водопостачання: Забруднення джерел водопостачання може погіршити якість питної води. Населення, яке використовує цю воду для пиття, може стати жертвою водонебезпечних хвороб, що виникають внаслідок забруднення стічними водами [27].
4. Вплив на здоров'я довкілля: Виробництво та обробка стічних вод можуть вимагати значних енергетичних витрат та викидів парникових

газів. Це може поглибити проблему зміни клімату та глобального потепління.

Запобігання негативному впливу стічних вод на довкілля та здоров'я людини вимагає комплексного підходу. До цього включається належна обробка та очищення стічних вод перед їх викидом у природу, використання більш економічних технологій водопостачання та водовідведення, зменшення водоспоживання та виробництва стічних вод, а також освіта та поширення свідомого водокористування серед населення і підприємств [4].

1.3. Класифікація забруднень стічних вод

Стічні води можуть бути дуже різноманітними за своїм складом і, відповідно, за своїми властивостями. Знання складу стічних вод та характеру наявних домішок є надзвичайно важливими, оскільки це визначає правильний вибір методів очищення та розробку оптимальних технологічних схем очисних споруд. Забруднення, які містяться у стічних водах, можна класифікувати за різними ознаками, і однією з найважливіших є їхнє походження та фазовий стан.

За походженням, забруднення можуть бути мінеральними, органічними, біологічними та бактеріальними. Мінеральні забруднення включають в себе пісок, глинисті частки, шлак, мінеральні солі, кислоти, луги тощо. Органічні забруднення можуть бути рослинного або тваринного походження. Рослинні забруднення включають залишки овочів, фруктів, паперу та інше, і вони містять вуглець. Тваринні забруднення включають фізіологічні виділення людей та тварин, а також жирові тканини та клейові речовини, і вони відрізняються високим вмістом азоту. Органічні забруднення можуть бути безазотистими, що містять вуглець, водень і кисень, або азотовмісними [14].

Безазотисті органічні домішки, що зустрічаються в господарсько-побутових стічних водах, складаються з вуглеводів та жирів. Вуглеводи включають моносахариди, такі як глюкоза, лактоза (молочний цукор) і дисахарид сахароза. Крім того, у стічних водах зустрічаються полісахариди, такі як целюлоза та крохмаль, які не розчиняються у воді та перебувають у завислому

стані, становлячи значну частину твердої фази [23]. Забруднення мінерального та органічного походження можуть перебувати у нерозчиненому, розчиненому та колоїдному стані.

Нерозчинені забруднення, які залишаються після фільтрації на паперових фільтрах, називаються завислими речовинами. Найбільша санітарна небезпека становиться забруднення органічного походження. Вміст органічних забруднень у розчиненому стані оцінюється за значеннями біохімічної потреби в кисні (БПК) та хімічної потреби в кисні (ХПК). Господарсько-побутові стічні води мають зазвичай високі значення БПК (100-400 мг/л) та ХПК (150-600 мг/л), і, отже, вони можуть розглядатися як сильно забруднені. Ці стічні води можуть також піддаватися процесу загнивання протягом 12-24 годин при температурі 20°C [23].

У міських стічних водах часто спостерігається значна кількість органічних забруднень, які становлять від 45% до 58% загальної кількості забруднень. Мінеральні речовини та інші забруднення складають відповідно від 42% до 55%. Органічні забруднення в стічних водах створюють сприятливе середовище для розвитку різних мікроорганізмів і бактерій, що створюють біологічне і бактеріальне забруднення стічних вод, що може мати епідемічну небезпеку.

Існують дві основні категорії цих мікроорганізмів [14]:

- сапрофітні бактерії (безпечні), до яких відносяться найпростіші організми, водорості, комахи, дріжджі та плісняві грибки;

- хвороботворні бактерії, які можуть бути збудниками різних захворювань, таких як черевний тиф, паратиф і дизентерія.

Згідно з класифікацією домішок за їх фазово-дисперсним станом, розробленою академіком Л. А. Кульським, всі домішки в стічних водах поділяються на чотири групи залежно від розміру частинок.

1. Нерозчинні речовини включають великі завислі частинки діаметром більше десятих часток міліметра, а також суспензії, емульсії та піну (частинки розміром від десятих часток міліметра до 0,1 мікрона).
2. Колоїдні речовини мають частинки з розміром від 0,1 до 0,001 мікрона.

3. Молекулярно-дисперсні речовини мають молекулярний розмір менше 0,001 мікрона і утворюють справжні розчини.

4. Іонні речовини мають розмір частинок менше 0,0001 мікрона і включають розчинені солі, луги, кислоти та їх солі.

Побутові води зазвичай мають питому витрату від 0,3 до 2 літрів на секунду на гектар площі кварталів міста або від 10 000 до 60 000 метрів кубічних на рік. Водопостачання в міста може бути нерівномірним протягом доби, з більшими витратами вдень, що перевищують витрати вночі, і різними витратами впродовж години. Водний стік може змінюватися в 2-5 разів [14].

Виробничі стічні води різних галузей промисловості відрізняються за складом забруднюючих речовин і їх концентраціями. Склад та концентрація забруднень залежать від виду виробництва, вихідної сировини, технологічних процесів та обладнання. Наприклад, стічні води від металургійних заводів можуть містити нерозчинні речовини, такі як окиси, феноли та масла. Стічні води з текстильних підприємств можуть містити завислі речовини, мийні засоби та мати високий показник біохімічної кисневої потреби (БПК). Концентрація забруднень у виробничих стічних водах може коливатися протягом дня і залежить від ходу технологічного процесу.

У дощових водах часто міститься значна кількість нерозчинених мінеральних домішок і органічних забруднень. Рівень біохімічної кисневої потреби (БПК) в дощових водах може сягати значення від 50 до 60 мг/л.

Дослідження показали, що дощові води можуть стати джерелом забруднення водних об'єктів. Загальна витрата дощових вод за рік коливається від 1500 до 2000 метрів кубічних на гектар, що в 5-30 разів менше, ніж витрата побутових вод [23].

Утворення і стікання дощових вод відбувається нерівномірно. Витрата дощових вод змінюється від нуля в суху погоду до максимального значення 300 літрів на секунду під час інтенсивних вливів [23].

1.4. Склад стічних вод птахофабрик

На птахофабриках, подібно до багатьох інших промислових підприємств, особливо у галузі харчової промисловості, водоспоживання є великим і важливим аспектом, що потребує особливої уваги. Це особливо актуально, оскільки для обробки однієї бройлерної тушки масою 2 кілограми може знадобитися від 5 до 10 літрів прісної води. Ця велика кількість води використовується як для забою та переробки птиці, так і для змиву обладнання, що призводить до значного обсягу стічних вод, що утворюються щодня [30].

Стічні стоки, які утворюються на птахофабриках, повинні обов'язково проходити процес біологічної очистки перед їх скиданням в водойму рибогосподарського призначення. У своїй природі птахофабрики включають процеси вирощування птиці, забою і подальшої переробки субпродуктів та кишок. Це означає, що стічні стоки надходять з різних виробничих цехів, таких як олійно-жировий, забійний, передзабійний утримання та ферми. Склад стічних вод птахофабрики включає органічні речовини, азотні сполуки, фосфати, велику кількість жирів, білка та інших компонентів. До стоків також потрапляють волокна пуху, пір'я, рогові пластики та інші речовини з крові, які містять протеїнову органіку [28].

Важливо враховувати, що разом із водою на птахофабриках використовуються мийні засоби для промивання устаткування, що призводить до утворення складних стічних стоків. Великі концентрації забруднень у цих стоках можуть становити серйозну екологічну загрозу при попаданні в навколишнє середовище. Саме тому необхідна повна механічна, фізико-хімічна і біологічна очистка від різних речовин та фракцій [28].

Незважаючи на те, що існує багато птахофабрик, вони можуть різнитися за складом стічних вод внаслідок різних умов утримання птиці, методів очищення ферми та видів кормів, які використовуються для годівлі птиці. Незалежно від обсягів виробництва, відповідно до законодавства всі існуючі та майбутні птахофабрики повинні мати спеціалізовані очисні споруди [30].

Стічні води, що утворюються на птахофабриках, в основному походять від розбирання тушок та миття обладнання. Тому комплекс очисних споруд повинен включати розподільні камери, пісколовки, механічні решітки, відстійники, флотатори та інше обладнання для відокремлення стічних стоків від твердих частинок. Після цього відбувається процес хімічної та біологічної очистки, а також знезараження стічних вод [28].

Також важливо відзначити, що якщо птахофабрика підключена до міської каналізаційної мережі, то для скидання стоків у міський колектор може бути достатньо використання двох методів очищення, а саме механічного і фізико-хімічного. Проте, якщо підприємство не підключене до міських комунікацій, адміністрація повинна забезпечити проведення повного циклу очищення, включаючи біологічний етап та дезінфекцію [30].

Маючи на увазі важливість контролю за водними ресурсами та збереженням довкілля, птахофабрики повинні активно застосовувати сучасні технології для обробки і очищення стічних вод з метою зменшення негативного впливу на навколишнє середовище та водні ресурси.

1.5. Методи очистки стічних вод

Всі методи обробки стічних вод можна умовно поділити на дві категорії: деструктивні та рекуперативні. Деструктивні методи сприяють розкладанню складних забруднюючих сполук на більш прості, які можуть бути виведені з води у вигляді газів, осаду або залишатися розчиненими, але при цьому вже не представляють небезпеки. З іншого боку, рекуперативні методи спрямовані на видобуток усіх цінних речовин зі стічних вод з метою їх подальшої переробки [26].

Існують п'ять основних методів обробки стічних вод. Нижче наведені методи.

Механічний метод є одним із найпростіших. Під час механічної обробки стічних вод з неї видаляються нерозчинні компоненти, такі як тверді частки і поверхневі жирові забруднення. Першим кроком у процесі є проходження

стічних вод через решітки, а потім через сита і відстійники. Дрібніші частинки осідають в результаті обробки пісколовками. Також існують спеціальні пристрої, які дозволяють вилучити нафтопродукти зі стічних вод за допомогою жироловок і бензомаслоуловлювачів. Застосування більш вдосконалених методів, таких як мембранне очищення, дозволяє досягти більш ефективного результату, і воно часто використовується разом з традиційними методами, забезпечуючи більш ретельне очищення. Механічна обробка стічних вод служить підготовчим етапом для біологічної очистки та може видалити до 70% домішок з побутових стоків і до 95% з промислових стічних вод [27].

Біологічний метод полягає в використанні мікроорганізмів, які можуть окислювати органічні речовини. Цей метод ґрунтується на природній спроможності водойм і річок очищати себе завдяки мікроорганізмам, що там проживають. Як результат, стоки очищаються від органічного азоту і фосфору.

Біологічна очистка може бути аеробною або анаеробною, в залежності від того, чи потрібен кисень для життєдіяльності бактерій [7].

Аеробне біологічне очищення використовує аеробних бактерій, які потребують доступ до кисню для свого функціонування. Аеротенки та біофільтри з активним мулом є одними з методів, що застосовуються для цієї мети. Аеротенки володіють високою ефективністю і дозволяють досягти значного ступеня очищення. Крім того, в процесі аерації утворюється активний мул, який може використовуватися як добриво.

Анаеробне біологічне очищення відбувається без доступу кисню. В анаеробних умовах бактерії здатні проводити процес бродіння, в результаті чого органічні речовини перетворюються на метан і вуглекислий газ. Для цього використовуються метатенки. Анаеробна очистка вимагає менших витрат, оскільки не потребує аерації [7].

Фізико-хімічний метод включає в себе такі процеси, як електроліз, коагуляція та осадження фосфору солями заліза і алюмінію [18].

Дезінфекція стічних вод може проводитися за допомогою ультрафіолетового опромінювання, хлорування або озонування. Ці методи

застосовуються для знезараження стічних вод перед їх скиданням у водні об'єкти [25].

Дезінфекція ультрафіолетовим опромінюванням є більш ефективним і безпечним методом порівняно з хлоруванням, оскільки він не призводить до утворення шкідливих токсичних сполук. Ультрафіолетове випромінювання знищує більшість мікроорганізмів та ефективно бореться з патогенами та вірусами.

Хлорування базується на здатності активного хлору впливати на мікроорганізми. Проте, воно має недоліки, такі як утворення хлоромісних токсинів та канцерогенних речовин.

Озонування включає знезараження стічних вод за допомогою озону, який є сильним окислювачем та ефективно вбиває бактерій. Проте цей метод є досить дорогим і може викликати виділення шкідливих речовин, таких як альдегіди та кетони.

Термічна утилізація використовується для обробки технологічних стічних вод, коли інші методи можуть бути неефективними. Під час термічної утилізації розпорошені стоки знезаражуються в процесі спалювання в факелі палива.

Етапи обробки стічних вод на очисних спорудах включають: попередню механічну обробку, біологічну обробку, доочищення, дезінфекцію.

На сучасних очисних спорудах стічні води проходять через ці кроки послідовно, і для кожного кроку використовується відповідне обладнання та технологія.

Устаткування для механічної обробки включає:

- решітки, що призначені для видалення великих частинок;
- пісколовки, які застосовуються при обробці більших об'ємів стічних вод;
- усереднювачі, які допомагають знизити варіацію складу стічних вод;
- відстійники, які дозволяють відокремлювати тверді частки від рідини;

- септики, що використовуються для очищення стічних вод, які направляються до фільтруючих траншей, колодязів і полів підземної фільтрації;

- гідроциклони, призначені для очищення стічних вод від зважених речовин;

- центрифуги, які виділяють дрібнодисперсні речовини, коли інші методи стають неефективними;

- флотаційні установки, що застосовуються для виділення масел, жирів і нафтопродуктів;

- дегазатори, які видаляють розчинені у воді гази [33];

Спори для біологічної обробки включають:

- преаератори та біскоагулятори, які допомагають знизити концентрацію іонів важких металів та інших забруднюючих речовин;

- біологічні фільтри, де відбувається біологічна очистка стічних вод;

- аеротенки, мулососи та метатенки, призначені для очищення стічних вод аеробним та анаеробним способом;

- вторинні відстійники, ілоотделителя та поля фільтрації, які забезпечують повну біологічну очистку стічних вод;

- біологічні ставки призначені для глибокого очищення стоків містять велику кількість органічних речовин.

Для очистки стічних вод використовують процеси нейтралізації і фільтрації. Для дезінфекції може використовуватися хлор (потрібно наявність хлорного обладнання) або електроліз (необхідно встановлення електролізних установок) [27].

НУБІП України

Таблиця 1.1

Орієнтований вибір основних споруд станції очищення

№ п/п	Споруди для очистки	Продуктивність очисної станції, м ³ /доб				
		До 5000	До 10000	До 30000	До 50000	Більш 50000
1	2	3	4	5	6	7
Споруди для механічної очистки						
1	Грати	+	+	+	+	+
2	Пісколовки горизонтальні: - з прямолінійним рухом води; - аеріровані; - з коловим рухом води.	+	+	+	+	+
		-	-	+	+	+
		+	+	+	+	+
Відстійники						
3	- двоярусні;	+	+	-	-	-
4	- вертикальні	+	+	-	-	-
5	- горизонтальні	-	-	+	+	+
6	- радіальні	-	-	+	+	+
Споруди для обробки осадка стічних вод						
7	Мулоущільнювач	-	+	+	+	+
8	Метантенки	-	+	+	+	+
9	Аеробні стабілізатори	+	+	+	-	-
10	Мулові площадки	+	+	+	+	+
11	Вакуум – фільтри	-	-	-	+	+
12	Центрифуги	-	+	+	+	+
Споруди для біологічної очистки стічних вод						
13	Біофільтри	+	+	+	-	-
14	Біологічні ставки	+	-	-	-	-
15	Аерофільтри	-	+	+	+	-
16	Аеротенки	+	+	+	+	+
Вторинні відстійники:						
17	- вертикальні;	+	+	-	-	-
18	- горизонтальні;	-	-	+	+	+
19	- радіальні	-	-	+	+	+

1.6. Технологічна схема очистки стічних вод

Очисна станція є складним комплексом споруд, обладнання і систем зв'язку, які призначені для очищення стічних вод, обробки утворених осадів і забезпечення всіх необхідних функцій для керування і контролю технологічними процесами. Вона також включає в себе допоміжні об'єкти, які необхідні для забезпечення умов роботи обслуговуючого персоналу та постачання станції електроенергією, теплом, матеріалами і реагентами.

Комплекс споруд для очищення стічних вод і обробки осадів розташований в певній технологічній послідовності, яку називають технологічною схемою. Зазвичай, ця схема включає в себе споруди механічної і біологічної очистки, процес доочищення та знезараження стічних вод, а також обробку осадів [10].

Обрання технологічної схеми очищення стічних вод залежить від декількох факторів, таких як склад і властивості стічних вод, необхідний ступінь очищення, продуктивність очисної станції, концентрація забруднень, спосіб подальшого використання очищеної води, потужність водоймища, в яке скидаються очищені стічні води, метод утилізації утворених осадів та місцеві умови, такі як геологія, рівень ґрунтових вод, рельєф місцевості, розміри майданчика під очисні споруди і санітарно-захисна зона, комунікації і так далі.

Розрахунок необхідного ступеня очищення стічних вод допомагає визначити, який рівень видалення забруднюючих речовин необхідно досягти на очисних спорудах [1]. Вибір типу очисних споруд, їхніх розмірів і кількості проводиться відповідно до вимог чинних будівельних норм. Технологія обробки утворених осадів також визначається відповідно до їхніх характеристик, обсягів і наявної площі.

На основі розрахунків необхідного ступеня очищення стічних вод обирають метод очищення, використовуючи дані, представлені в таблиці 1.2.

Залежність методу очищення від потрібного ступеня очищення [1]

Рекомендовані методи очищення	Необхідний ступінь очищення, мг/л	
	за завислими речовинами	за БПК _{псвн}
Механічна очистка	80	–
Механічна і частковобіологічна очистка	25 – 80	25 – 80
Механічна і повна біологічна очистка	15 – 25	15 – 25
Механічна, повна біологічна очистка і доочищення	<15	<15

Очисна станція, це інтегрований комплекс споруд, обладнання та комунікацій, спрямований на опрацювання стічних вод, обробку утворених осадів, та забезпечення дієвого керування та контролю технологічними процесами. Також включає в себе допоміжні об'єкти для комфортних умов праці персоналу та забезпечення станції електроенергією, теплом, матеріалами та реагентами.

Споруди для очищення стічних вод та обробки осадів розташовані в строго визначеній технологічній послідовності, яку називають технологічною схемою.

Ця схема включає в себе процеси механічної та біологічної очистки, доочищення та знезараження стічних вод, а також обробку утворених осадів [1].

Вибір конкретної технологічної схеми залежить від різноманітних факторів, таких як склад і властивості стічних вод, необхідний ступінь очищення, потужність очисної станції, концентрація забруднень, подальше використання очищеної води, та обсяг водоймища для скиду стічних вод. Також важливі місцеві умови, такі як геологія, рівень ґрунтових вод, рельєф місцевості, розміри майданчика для споруд, та санітарно-захисна зона.

Розрахунок необхідного ступеня очищення стічних вод визначає, яке зменшення концентрації забруднень необхідно досягти на очисних спорудах [10]. Тип та розміри очисних споруд визначаються відповідно до вимог чинних будівельних норм. Технологія обробки утворених осадів визначається в залежності від їхніх характеристик, обсягів, та наявної площі.

При визначенні обсягу робіт на очисній станції, необхідно враховувати також витрати стічних вод. Якщо витрати досягають 50 тисяч кубічних метрів на добу, застосовується конкретна технологічна схема, включаючи механічне очищення на ґратах, у піскоуловлювачах та первинних відстійниках [10].

Для підвищення ефективності видалення завислих речовин перед первинними відстійниками можуть використовуватися преаератори, до яких подається активний мул – в якості блофлукулянта. Сирий осад з первинних відстійників направляється в метантенки.

Біологічне очищення здійснюється в аеротенках, де активний мул співпрацює з проясненою стічною водою для видалення біологічних забруднень.

Для нормального функціонування мікроорганізмів активного мулу в аеротенках потрібне постійне подання повітря, забезпечуване повітродувками в машинному залі.

Очищена стічна вода та активний мул направляються в вторинний відстійник, де активний мул осаджується, а основна його частина повертається в аеротенк.

У системі аеротенк - вторинний відстійник маса активного мулу збільшується завдяки його приросту, тому частина надлишкового активного мулу видаляється з вторинного відстійника та подається в мулоушільнювач.

Обсяг мулу зменшується в 4-6 разів, а ущільнений надлишковий мул перекачується в метантенк.

Очищена стічна вода знезаражується, зазвичай хлорується, в контактному резервуарі і скидається в водойму.

Зброджений осад з метантенків направляється для механічного зневоднення на вакуум-фільтри або фільтр-преси, після чого зневоднений осад може піддаватися термічному сушінню і використовуватися як добриво [1].

На рис. 1.2. можна побачити технологічну схему очищення стічних вод.

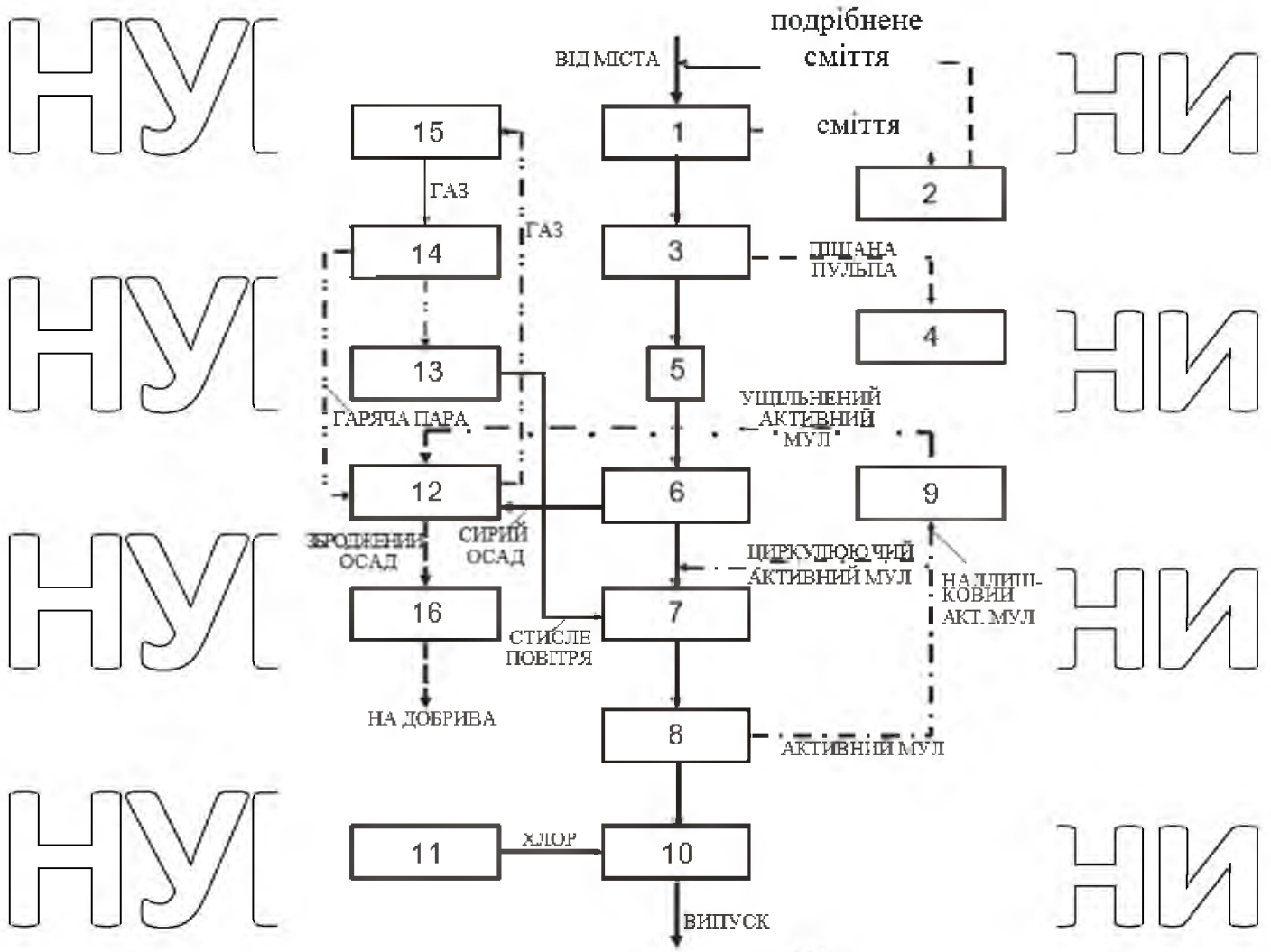


Рис. 1.2. Технологічна схема очищення стічних вод

1 – ґрати; 2 – дробарка; 3 – піскоудловлювач; 4 – піскові бункери; 5 – вимірювач витрати; 6 – первинні відстійники; 7 – аеростенки; 8 – вторинні відстійники; 9 – мулоуцільнювачі; 10 – контактні резервуари; 11 – хлораторна; 12 – метантенк; 13 – машинне відділення; 14 – котельня; 15 – газголдери; 16 – зневоднення збродженого осаду

1.7. Розробка функціональної схеми автоматизації

Аеростенк – це спеціальний резервуар, який використовується для біологічної очистки стічних вод. У цьому процесі стічна рідина і активний мул постійно переміщуються за допомогою подачі стисненого повітря. Головна мета

цього процесу - забезпечити постійне аерацію суміші стічної рідини та активного мулу. Для цього використовуються повітродувки, які подають кисень у резервуар [10].

Важливою особливістю аеротенків є можливість регулювання процесу очищення відповідно до потреб. Чим довше триває процес аерації і чим більше активного мулу та повітря використовується, тим ефективніше вода очищається від забруднень.

Після очищення, суміш стічної рідини та активного мулу направляється в вторинний відстійник, де відбувається відокремлення очищеної стічної води від активного мулу. Очищений активний мул потім повертається в аеротенк для подальшого використання. Цей процес контролюється і виконується за допомогою спеціальних пристроїв, таких як ерліфти [11].

Однак, автоматизація процесу управління аеротенками може бути складною задачею через наступні особливості:

- велика площа розташування технологічних вузлів, що може впливати на топологію локальної мережі;
- висока вологість в приміщенні, що вимагає спеціального обладнання для встановлення приладів контролю та електрообладнання;
- складні функціональні залежності та параметри, які потрібно регулювати, такі як доза мулу та навантаження на активний мул, відсутність достовірної моделі керованого процесу, що може вимагати використання оцінок експертів;
- впливи, які обумовлені непередбачуваною зміною характеристик стічних вод.

Автоматизація аеротенка включає в себе регулювання навантаження на активний мул, концентрації розчиненого кисню і витрат поворотного мулу за допомогою локальних систем управління.

Система автоматизації для блоку біологічного очищення стічних вод включає в себе комплексну функціональну схему для ефективного регулювання

кількох ключових параметрів [18]. Основні параметри, які регулюються, включають:

1. Концентрацію розчиненого кисню в аеротенку [10]:

- датчик концентрації розчиненого кисню вимірює рівень кисню в аеротенку;
- програмний багатофункціональний регулятор визначає оптимальну кількість подачі повітря;
- магнітний пускач включає або вимикає обладнання для подачі повітря;
- регулюючий клапан з електроприводом керує заслінкою воздуховода аеротенка для забезпечення заданої концентрації кисню в муловій суміші.

2. Навантаження на активний мул [7]:

- датчик концентрації органічних забруднень вимірює рівень забруднення стічної рідини;
- регулятор потоку для стічної рідини і зворотного активного мулу регулює навантаження на активний мул;
- регулятор співвідношення впливає на співвідношення між забрудненнями та поворотним мулом;
- нефелометрія вимірює концентрацію активного мулу;
- сигнальна лампа ввімкнеться в разі відсутності подачі зворотного активного мулу в аеротенк.

3. Поворотний мул [7]:

- регулятор потоку для стічної рідини, поворотного і надлишкового активного мулу регулює навантаження на поворотний мул;
- нефелометрія вимірює концентрацію активного мулу;
- датчик концентрації органічних забруднень вимірює рівень забруднення стічної рідини;
- регулятор співвідношення впливає на співвідношення між активним мулом та забрудненнями;

- магнітний пускач включає або вимикає обладнання для поворотного мулу.

Система автоматизації розрахована на забезпечення сталої маси активного мулу в системі очищення та оптимальних параметрів для очищення стічних вод.

Вона базується на регулюванні параметрів за допомогою сигналів від датчиків та вимірювачів, що дозволяє забезпечити ефективну і економічну роботу системи очищення стічних вод [7].

Для ефективного управління процесом очищення стічних вод використовуються різні типи датчиків і перетворювачів для вимірювання та моніторингу різних параметрів. Деякі з них включають:

1. Вимірювання концентрації розчиненого кисню [21]: для вимірювання концентрації розчиненого кисню використовується датчик, який використовує принцип граничного дифузійного струму на негативно зарядженому металевому електроді. Даний датчик має твердий срібний електрод, захищений полімерною плівкою, що дозволяє дифундувати кисень при різниці концентрацій і стабілізує товщину дифузійного шару в приелектродному просторі.
2. Вимірювання рівня осаду [7]: для вимірювання рівня осаду використовується оптикоелектронна система, яка працює на основі 4-х променевого методу. Датчик погрузного типу має фоторезистор та джерело світла. Зміна оптичної щільності середовища між джерелом світла і приймачем вимірюється як зміна фотоструму і напруги на опорі навантаження фоторезистора.
3. Визначення біологічного споживання кисню (БПК) [21]: для визначення БПК використовується лабораторний аналізатор, який працює на принципі вимірювання змін тиску в системі з високочутливими електронними датчиками тиску. Аналізатор забезпечує просту і швидку підготовку зразків та дозволяє визначити БПК в м³/л. Результати вимірювань можна перевірити на графічному РК-дисплеї.

4. Вимірювання витрати стічних вод: витрата стічних вод вимірюється за допомогою приладу, який використовує електромагнітний принцип вимірювання. Цей прилад має уніфікований струмовий вихідний сигнал 4-20 мА, що дозволяє вимірювати витрату стічних вод.

Використання цих датчиків і перетворювачів дозволяє ефективно контролювати та регулювати процес очищення стічних вод, забезпечуючи стаду якість та ефективність очищення.

У результаті розробки системи автоматичного регулювання кисневого режиму для очищення стічних вод було впроваджено наступні зміни та поліпшення:

Облаштування очисних споруд під системою контролю:

- додано автоматичний відбір проб стічних вод, що надходять, для постійного моніторингу якості вхідного матеріалу;
- забезпечено контроль вмісту кисню в муловій суміші аеротенків, що дозволяє точно регулювати аерацію для оптимального очищення стічних вод;
- встановлено контроль рівня мулу у вторинних відстійниках, що допомагає у відокремленні активного мулу від очищеної стічної води;
- запроваджено контроль потоку повітря, що подається в систему, і циркулюючого активного мулу, що повертається в аеротенки для збалансування процесу.

Для полегшення роботи обслуговуючого персоналу передбачено:

- автоматизацію каналізаційної насосної станції, що дозволяє віддалено керувати і контролювати роботу насосів;
- ліквідацію панелі управління насосом у виробничих і допоміжних приміщеннях, що спрощує процес управління і знижує ризик помилок.

Забезпечено світлову та звукову сигналізацію для аварійного рівня стоків у приймальному баку насосної станції та аварійного стану електрообладнання, що сприяє негайному реагуванню на можливі проблеми.

Повітровувачі та насоси працюють в автоматичному режимі, а в надзвичайних ситуаціях введено в експлуатацію резервне обладнання, що гарантує безперебійну роботу системи.

Наявність резервного обладнання та велика кількість приміщень забезпечують надійність і стабільність технологічного процесу навіть у нерегульованих ситуаціях, не впливаючи на якість очищення стічних вод.

Завдяки цим змінам система стала більш автоматизованою та надійною, здатною забезпечувати ефективне очищення стічних вод навіть у непередбачених ситуаціях (рис.1.3.).

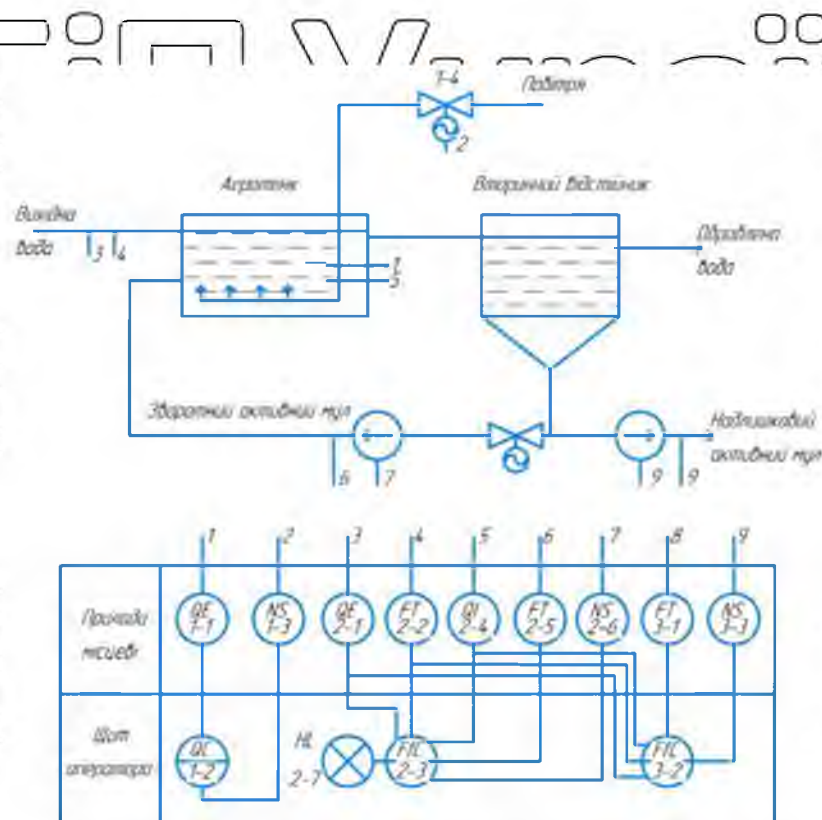


Рис. 1.3. Функціональна схема автоматизації регулювання процесу очищення стічних вод в аеротенках

РОЗДІЛ 2 ПОБУДОВА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТА УПРАВЛІННЯ

Розробка математичної моделі об'єкта управління, такого як система подачі стічних вод та відкачки очищеної води на очисних спорудах птахофабрики, є важливою для ефективного контролю та оптимізації процесів очищення стічних вод. Математична модель допомагає передбачити і аналізувати зміни в системі в різних умовах та допомагає вирішувати завдання автоматизації та управління.

Математична модель дозволяє проводити симуляції, прогнозувати реакцію системи на зміни умов та параметрів, і розробляти стратегії управління для досягнення певних цілей, таких як оптимальне очищення стічних вод та ефективне використання енергії насосів. Розроблена математична модель може бути використана для подальшого розроблення системи автоматичного регулювання (САР) для оптимізації роботи системи очищення стічних вод на птахофабриці [36].

2.1. Розробка математичної моделі

Математична модель двигуна може бути задана системою рівнянь електричної і механічної частин двигуна у вигляді:

$$L \frac{dI}{dt} + RI + c_e \omega = U$$

$$\begin{cases} J \frac{d\omega}{dt} = M_d - M_c \\ M_d = c_m I \end{cases} \quad (2.1)$$

Перше рівняння відображає взаємозв'язок між змінними у ланцюзі якоря, друге – умови механічної рівноваги. В якості узагальнених координат вибираємо частоту обертання якоря ω і струм якоря I . Управлінням є напруга на якорі U .

збурення – це момент опору навантаження M_c . Параметрами моделі є індуктивність данцюга і якоря та активний опір, позначені відповідно L , і R , а також момент інерції J та конструктивні постійні c_e і c_m . У системі СІ $c_e = c_m$ [36]

Параметрична схема математичної моделі електродвигуна показана на рисунку (Рис.2.1).

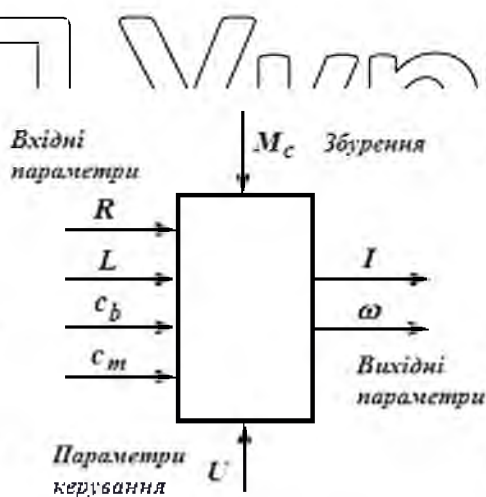


Рис.2.1 Параметрична схема електродвигуна

Вирішуючи вихідну систему відносно перших похідних, отримаємо рівняння двигуна в просторі станів:

$$\begin{aligned} \frac{dI}{dt} &= -\frac{R}{L}I - \frac{c_e}{L}\omega + \frac{1}{L}U, \\ \frac{d\omega}{dt} &= \frac{c_m}{J}I - \frac{1}{J}M_c. \end{aligned} \quad (2.2)$$

2.2. Розроблення імітаційної моделі в середовищі ППД Simulink

По математичній моделі ОУ створимо в середовищі *Simulink MATLAB* імітаційну схему електродвигуна (Рис.2.2.). Осцилографи ω і I будуть показувати динаміку зміни обертів електродвигуна і величину струму в якорі електродвигуна. Параметром керування є напруга U , збуренням – момент опору навантаження M_c , значення яких на схемі взяли 380В і 0 Н·с – початкове значення моменту.

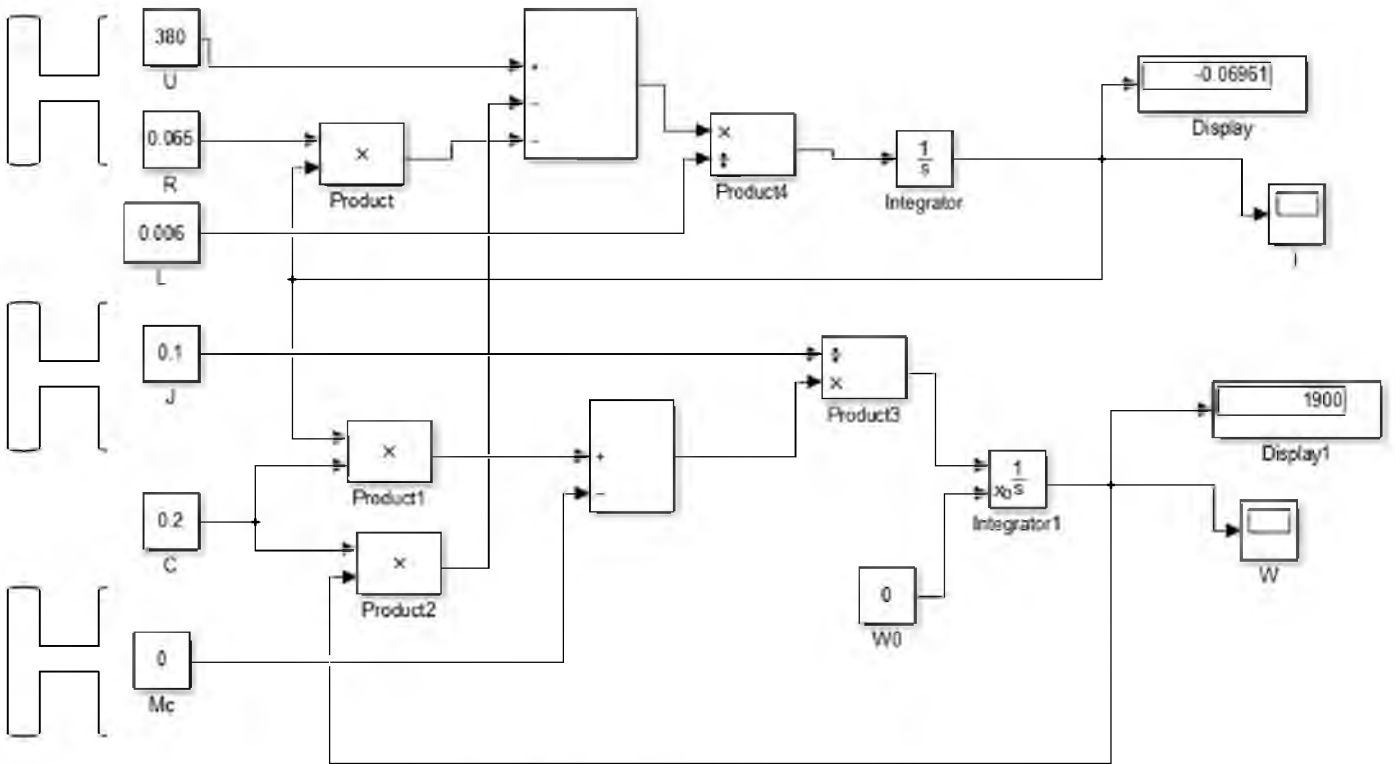


Рис.2.2. Імітаційна схема електродвигуна двигуна

2.3. Результати моделювання

Щоб побачити результат обчислень, потрібно клацнути на блок *Scope* з назвою *W*, у відкритому вікні можна побачити графік цього блоку. Якщо масштаб виведення графіка невірний, то потрібно клацнути по кнопці меню *Autoscale*, тоді масштаб встановиться автоматично. Початкове значення обертів введемо за допомогою блоку *W0*. В результаті отримаємо криву зміни обертів електродвигуна в часі (перехідного процесу електродвигуна) (Рис.2.3.).

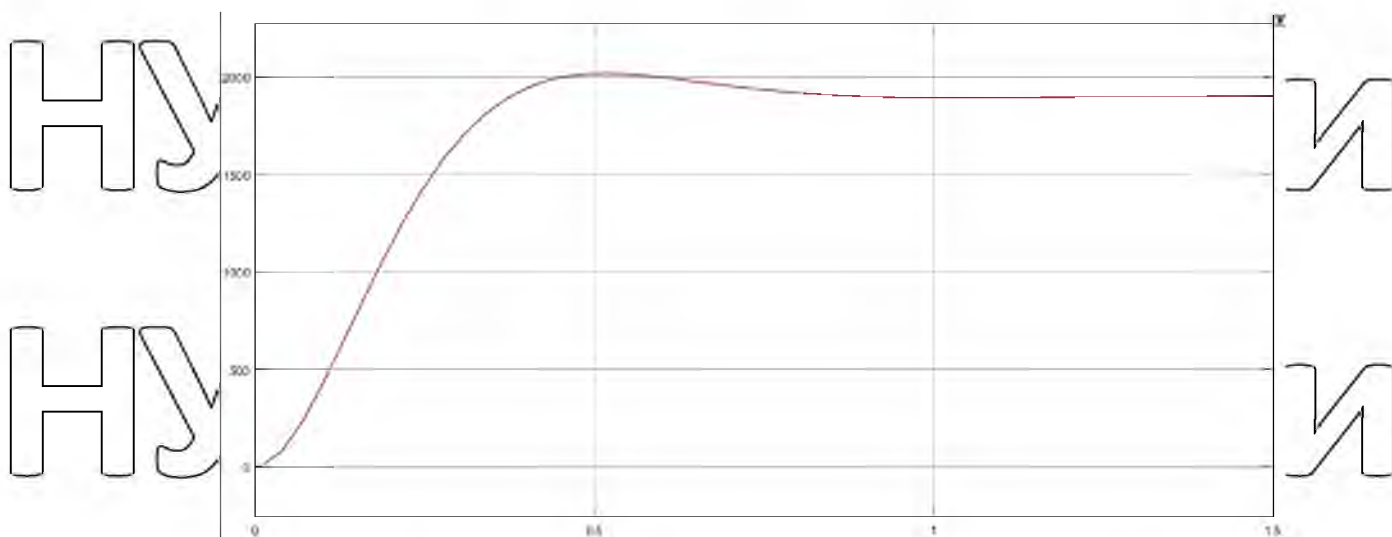


Рис.2.3. Графік перехідного процесу для каналу обертів електродвигуна

Проведемо дослідження моделі. Визначимо вплив керуючого параметру напруги електродвигуна U на регульований параметр обертів електродвигуна ω .

Для цього потрібно задати значення параметрів обраного двигуна:

$$M_c = 0 \text{ Н м}; R = 0,065 \text{ Ом}; L = 0,006 \text{ Гн}; J = 0,1 \text{ кг/м}^2; c_e = c_m = 0,2 \text{ В/с}$$

Напругу електродвигуна будемо змінювати від 0 до 380 вольт.

В результаті з використання ППП MathCad отримаємо графік впливу керуючого параметру U , В на обертів електродвигуна ω , рад/с (Рис. 2.4.).

За допомогою ППП MATLAB знайдемо передатну функцію електродвигуна. Для цього потрібно привести рівняння (2.2) до матричного виду:

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= Ax + Bu + Df; \\ e &= Cx, \end{aligned} \quad (2.3)$$

де вектор узагальнених координат $x = [I, \omega]^T$, вектор управління $u = U$ (у розглянутому випадку він є скаляром), вектор (скаляр) збурень $f = M_c$ [9].

Матриці моделі будуть мати такий вигляд:

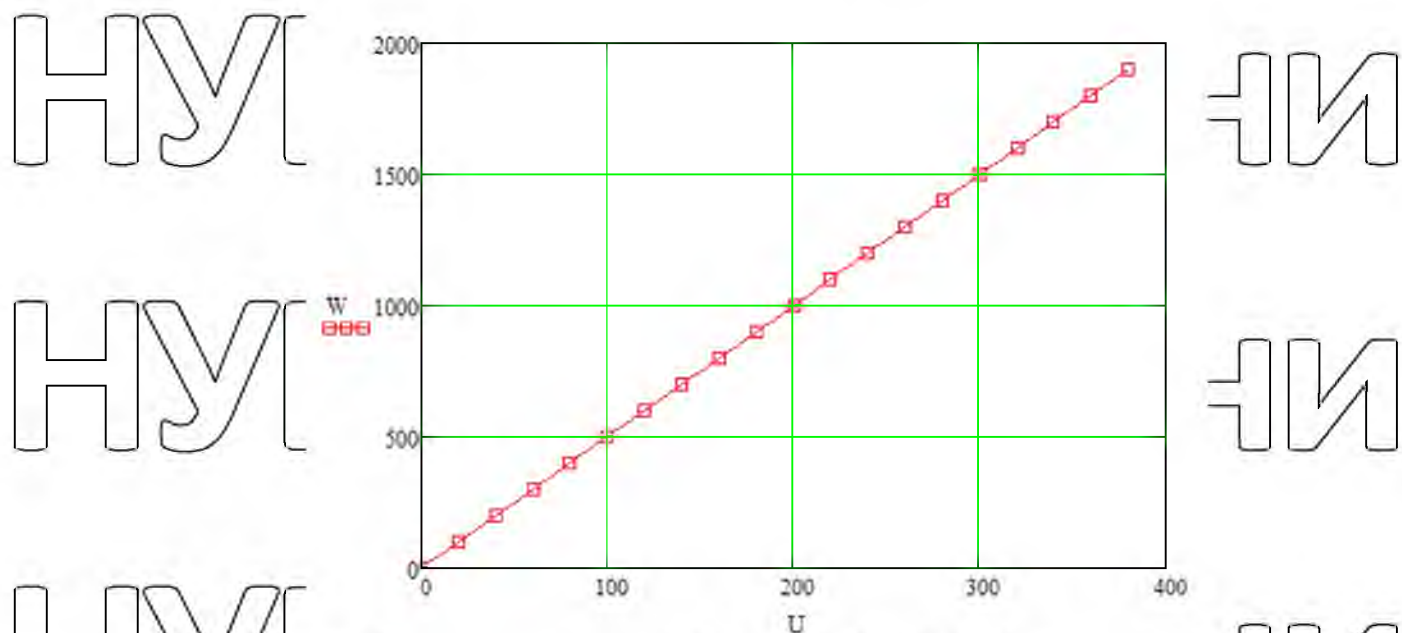
$$A = \begin{pmatrix} \frac{R}{L} & -\frac{c_e}{L} \\ \frac{c_m}{J} & 0 \end{pmatrix}; B = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}; C = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}; \quad (2.4)$$

За регульовану величину обрано частоту обертання, рівняння вимірювань запишеться в такому вигляді:

$$y = \omega; \quad (2.5)$$

а матриця вимірювань прийме вигляд:

$$C = (0 \ 1). \quad (2.6)$$



Фиг. 2.4. Вплив керуємого параметру, напруги U на параметр керування, оберти електродвигуна

На Фиг. 2.5. зображено програму написану в середовищі MATLAB для отримання передатної функції обраного електродвигуна:

НУБІП України

$$W(p) = \frac{333.3}{p^2 + 10.83p + 66.67} \quad (2.7)$$

Command Window

```
>> J=0.1; c=0.2; R=0.065; L=0.006;
>> A=[-R/L -c/L; c/J 0];
>> B=[1/L;0];
>> C=[0 1]; D=0;
>> sd=ss(A,B,C,D);
>> wd=tf(sd)
```

wd =

$$\frac{333.3}{s^2 + 10.83 s + 66.67}$$

Continuous-time transfer function.

Рис.2.5. Програма MATLAB по розрахунку передатної функції електродвигуна

РОЗДІЛ 3 ОБГРУНТУВАННЯ ТА ВИБІР АЛГОРИТМУ КЕРУВАННЯ ОБ'ЄКТОМ, АНАЛІЗ ЯКОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ АВТОМАТИЧНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ

3.1. Вибір та обґрунтування алгоритму керування

В практиці автоматичного регулювання виробничих процесів велике значення має правильний вибір регуляторів та розрахунок їх оптимальних параметрів для налагодження. Ці завдання вирішуються на стадії проектування системи автоматичного регулювання (САР) та уточнюються під час налагодження регуляторів на реальному об'єкті [36].

Головні цілі вибору регуляторів та налагодження параметрів САР включають:

1. Відповідність САР технологічним та експлуатаційним вимогам конкретного виробництва та режимам роботи регульованого об'єкта.
2. Стійкість системи до найбільш характерних збурень, які є характерними для об'єкта.
3. Забезпечення потрібної якості процесу регулювання як в динамічних, так і в статичних умовах системи, включаючи точність при неперервних змінах збурень, експлуатаційну надійність, мінімальні витрати та економічну ефективність.

Правильний вибір регуляторів і налагодження їх параметрів вимагає правильної оцінки технологічних та експлуатаційних вимог, які ставляться до САР. У певних випадках необхідно знайти раціональний компроміс між умовами отримання найвищої якості регулювання та економічної доцільністю використання складних систем [36].

Враховуючи те, що характер експлуатаційних збурень не є закономірним і може бути випадковим, стан рівноваги регульованої системи є непостійним і може бути оцінений за допомогою середнього відхилення регульованої величини протягом певного періоду часу. Це середнє відхилення характеризує

динамічну точність регулювання. Збурення можуть бути тривалими і короткочасними, і вони можуть мати різну природу [36].

Для вибору регуляторів і налагодження параметрів важливо враховувати максимально можливі збурення в умовах нормальної експлуатації. Проте, в деяких випадках система може бути перевірена на стійкість під час аварійних збурень.

Оцінка якості перехідних процесів включає оцінку динамічної точності та реакції системи на збурення з урахуванням технологічних та експлуатаційних вимог. Такі процеси можуть наближатися до обмеженої кількості типових перехідних функцій, одна з яких може бути найбільш оптимальною для конкретного об'єкта [36].

Ці завдання вирішуються на основі теоретичних досліджень та практичного досвіду та вимагають комплексного підходу до проектування та налагодження систем автоматичного регулювання.

Після вибору одного із типових перехідних процесів, використовуючи вихідні дані, визначають задане значення динамічного коефіцієнта регулювання, який характеризує максимальне динамічне відхилення. Динамічний коефіцієнт регулювання для статичних об'єктів R_d являє собою відношення максимально допустимого відхилення регульованої величини X_1 у перехідному процесі, поділена на коефіцієнт $K_{уст}$ усталеного режиму об'єкта помножена $U_{збур}$ збурення об'єкта [36].

$$R_d = \frac{X_1}{K_{уст} \cdot U_{збур}} = \frac{2860}{1900 \cdot 2\%} = 0,75 \quad (3.1)$$

Найкраще мінімальне значення R_d може бути отримане при використанні ПД-регуляторів (табл.3.1.) [36].

Таблиця 3.1.

Динамічний коефіцієнт регулювання для астатичних об'єктів

Тип регулятора	Аперіодичний	20% перерегулюванням	$\min \int x^2 dt$
П	2,9	1,4	-
ПІ	1,4	1,3	0,9
ПІД	1,3	1,1	0,8

3.2. Вибір сприймаючих елементів

3.2.1 Вибір датчика температури

Датчик температури 7MC711-6ES31 від Сіменс (Siemens) знається під назвою SITRANS TS100 і призначений для вимірювання температури в різних застосуваннях, включаючи вимірювання температури в очисних спорудах та інших промислових процесах (рис.3.1).

Важливими особливостями цього датчика є [49]:

- Пряме підключення кабелем: Датчик має можливість прямого підключення кабелем, що полегшує його інсталяцію та забезпечує надійний зв'язок з системою моніторингу.

- Мінеральна ізоляція: Мінеральна ізоляція використовується для забезпечення захисту датчика від агресивних середовищ і високих температур. Вона дозволяє датчику працювати в умовах, де інші ізоляційні матеріали можуть бути не ефективними.

- Висока точність: SITRANS TS100 від Сіменс має високу точність вимірювань, що дозволяє надійно моніторити температуру в реальному часі.

- Варіація моделей: Сіменс пропонує різні моделі цього датчика з різними параметрами та характеристиками, щоб задовольнити різні потреби та умови застосування.

- Точність 1xPt100, Cl.AA -50 ... 250 кельвінів.

Датчик SITRANS TS100 може бути використаний для вимірювання температури в середовищах з агресивними рідинами та високими температурами, що часто зустрічається в процесах очищення стічних вод та інших промислових застосуваннях. Важливо правильно встановити та налаштувати цей датчик для ваших конкретних потреб [49].



Рис. 3.1. Зовнішній вигляд датчика температури 7MC7111-6EC31 SIEMENS SITRANS TS100

Передачна функція, виходячи із літературних джерел, буде мати вигляд:

$$W_{CE}(s) = 1. \quad (3.2)$$

3.2.2 Вибір датчика електропровідності

Електропровідність води є важливою характеристикою в системах водоочищення, і вона може служити як показник ступеня забрудненості води.

Однак існуючі вітчизняні датчики не завжди відповідають вимогам щодо надійності і точності для досліджень. Тому фахівцям було поставлено завдання розробити новий датчик, який здатний контролювати електропровідність води в безперервному режимі і відповідати вимогам експлуатації [40].

Існують два основних методи вимірювання електропровідності води: контактний та безконтактний. Контактний метод передбачає постійний контакт електродів з рідиною, але має свої недоліки, такі як руйнування через електроліз та поляризація електродів.

Безконтактний метод, з свого боку, дозволяє уникнути гальванічного контакту електродів з середовищем, яке аналізується. Цей метод поділяється на низькочастотну та високочастотну кондуктометрію [40].

Низькочастотна безконтактна кондуктометрія працює на низьких частотах (до 1000 Гц) і використовується для вимірювання слабких і сильних електролітів, якщо їхня питомі електропровідність знаходиться в межах $1 \cdot 10^{-6}$ См / см [40].

Високочастотна безконтактна кондуктометрія використовує взаємодію електромагнітного поля високої частоти (від 10^5 до 10^8 Гц) з розчином, який аналізується. Цей метод вимірювання полягає у зміні імпедансу розчину, яка пов'язана з його діелектричною проникністю та електричною провідністю.

Для ваших потреб у технологічному процесі використовується датчик електропровідності води CON 1134-13 (рис.3.2). Цей датчик безконтактно вимірює електропровідність води і може бути корисним для контролю і оптимізації процесів водоочищення [40].

Технічні характеристики:

- Діапазон вимірювань: $1-2000 \mu\text{S} / \text{cm}$.
- Константа осередки: 1.0 cm^{-1} .
- Термокомпенсація ϵ , тип датчика NTC10K.
- Матеріал. Основний матеріал: АБС пластик. Осередок: нержавіюча сталь 316L. Частини установки: АБС пластик.
- Зовнішня різьба: NPT1 / 2".
- Середня температура: $0 \sim 50 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Максимальний тиск: 0.5 МПа (макс).
- Довжина кабелю: стандартна - 5 м.



Рис. 3.2. Зовнішній вигляд датчика електропровідності SON 1134-13

Передатна функція, виходячи із літературних джерел, буде мати вигляд:

$$W_{CE}(s) = 1. \quad (3.3)$$

3.3. Реалізація алгоритму керування

Функціонально - структурна схема системи являє собою графічне зображення динамічних властивостей функціональних елементів системи, яка описує математичну модель процесу управління (рис.3.3.). Вона показує з яких динамічних типових ланок складається система і як вони з'єднуються між собою [36].

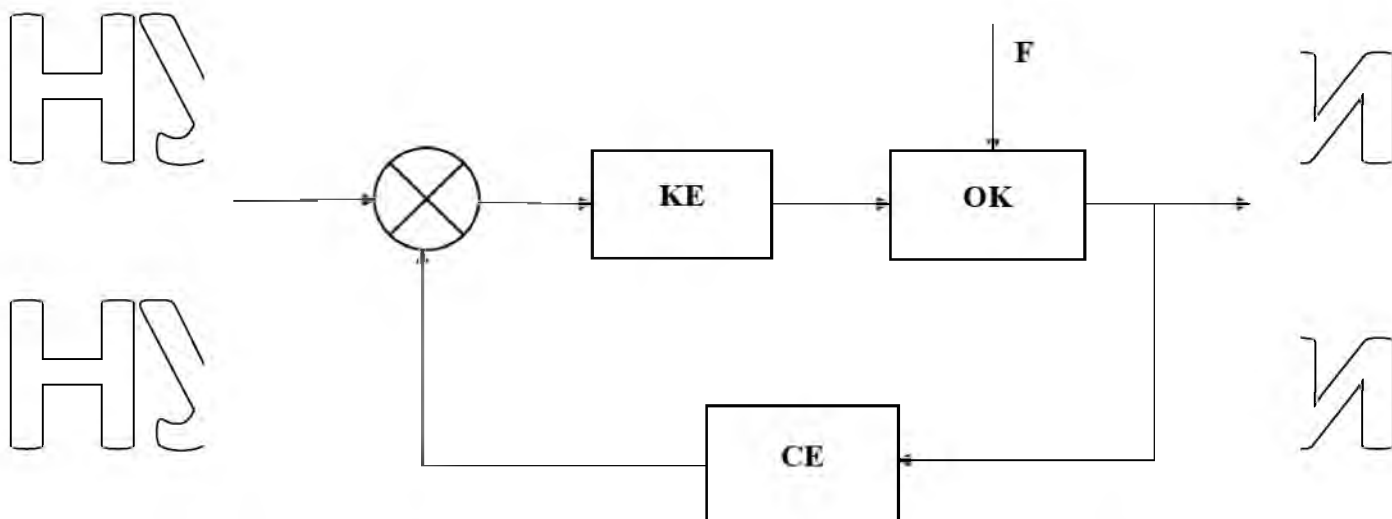


Рис.3.3. Структурно – функціональна схема системи керування очисткою стічних вод на птахофабриці

На структурно – функціональній схемі САК зображені такі елементи:

KE – регулятор (частотний регулятор);

OK – об'єкт регулювання (двигун насоса подачі активного мулу);

CE – сприймаючий елемент (датчик електропровідності).

Структурно-алгоритмічна схема САК являє собою графічне зображення динамічних властивостей функціональних елементів системи, яка описує математичну модель процесу керування. Вона показує з яких динамічних типових ланок складається система і як вони з'єднуються між собою [36].

3.3.1. Визначення періоду дискретизації

Для визначення часу квантування T потрібно побудувати графік A/NX який зображений на рисунках нижче, в середовищах MATCAD та MATLAB .

Складаємо рівняння та розв'язуємо його у програмному середовищі MATCAD (рис.3.4.).

$\omega = -1$
Given

$$\frac{5}{\sqrt{(-0.015\omega^2 + 6)^2 + 0.16^2\omega^2}} = 0.833 - 0.01$$

$$\frac{5}{\sqrt{(0 + 6)^2}} = 0.833$$

Find(ω) = 200.894

$$\frac{3.14}{200.894} = 0.016$$

Рис. 3.4. Складене та розв'язане рівняння для АЧХ в середовищі MATCAD

Будуємо графік АЧХ неперервної частини системи за допомогою програми

MATHCAD (рис.3.5.). Щоб перевірити правильність аналітичного розв'язку, за допомогою трасровки знаходимо на графіку точку, що відповідає по осі X знайденій найбільшій суттєвій частоті. Тоді по осі Y при правильному аналітичному розв'язку повинні отримати значення правої частини рівняння.

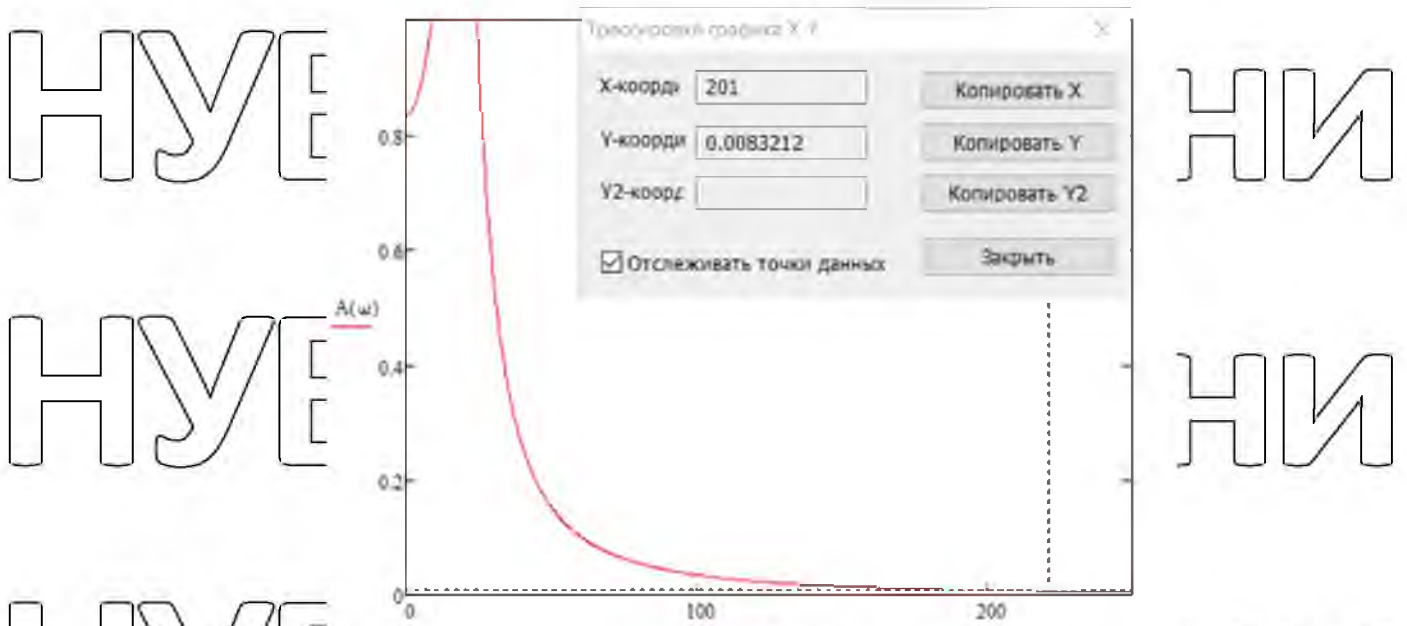


Рис. 3.5. Побудована АЧХ в середовищі MATHCAD

Графік АЧХ неперервної частини системи можна також побудувати у MATLAB. Для цього потрібно спочатку у Command Window задати передавну функцію неперервної частини замкненої системи $W_{зам.ч.}(s)$ за допомогою команди `>>w=tf([5],[0.015 0.16 6])`, а потім побудувати її АЧХ за допомогою команди `>>bode(w)` (рис.3.6.).

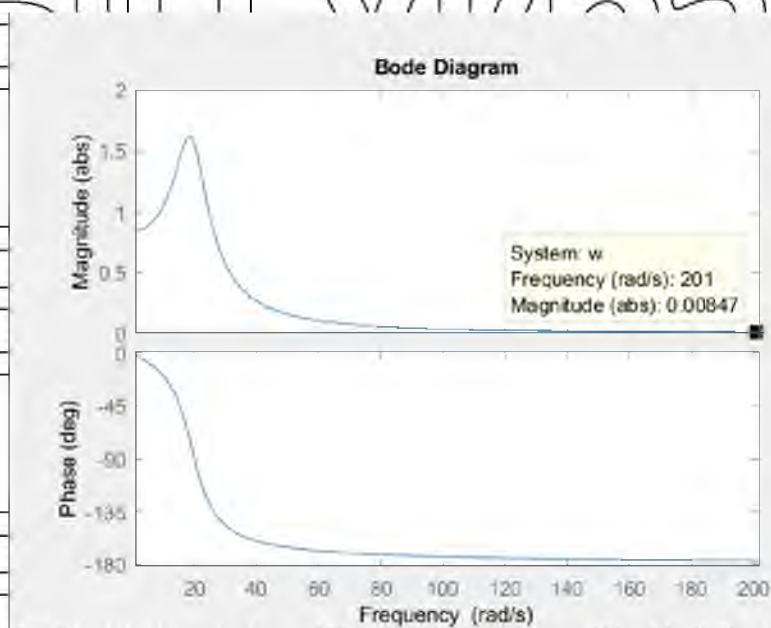


Рис. 3.6. Побудована АЧХ в середовищі MATLAB

Розрахунки, отримані обома методами, збігаються. Тоді період квантування: $T_{ц} = \frac{\pi}{20} = 0.016$.
Приймаємо $T_{ц} \approx 0.016$ с.

3.3.2. Налаштування ПД-регулятора

На сьогоднішній день, в автоматизації, в основному, використовують цифрові регулятори. При виконанні імпульсної теореми для визначення їх параметрів налаштування можна застосовувати аналітичні і графічні методи. Проте, якщо необхідно аналізувати процеси у самому цифровому регуляторі, самостійне створення програми, що буде реалізувати алгоритм регулювання, досліджувати вплив періоду квантування та дискретного характеру сигналів на динамічні

характеристики цифрової системи, більш точним буде метод синтезу регулятора у Z-перетворенні [36].

В цьому розділі розглядається методика розрахунку параметрів налаштувань цифрових ПІ- та ПІД-регуляторів при апроксимації неперервної частини систем першого та другого порядку у вигляді однієї або послідовного з'єднання двох інерційних ланок.

$$W_{nu}(s) = \frac{K}{(T_1s+1)} \quad \text{або} \quad W_{nu}(s) = \frac{K}{(T_1s+1)(T_2s+1)} \quad (3.3)$$

Передатна функція цифрового ПІД-регулятора має вигляд:

$$W_{reg}(z) = K_p + \frac{K_i T(z+1)}{2(z-1)} + \frac{K_d(z-1)}{Tz}$$

$$\frac{K_i T^2 + 2K_d + 2K_p T}{2Tz(z-1)} \left(z^2 + \frac{K_i T^2 - 2K_p T - 4K_d}{K_i T^2 + 2K_d + 2K_p T} z + \frac{2K_d}{K_i T^2 + 2K_d + 2K_p T} \right) \quad (3.4)$$

Коли в знаменнику неперервної частини є два полюси z_1 і z_2 , то знаменник має поліном другого степеня $z^2 - (z_1 + z_2)z + z_1 z_2$. Для знаходження значень коефіцієнтів налаштування K_p , K_i та K_d проводять синтез цифрового ПІД-регулятора. Коефіцієнти визначаються так, щоб компенсувати два полюси Z-перетворення неперервної частини системи, що відповідають двом інерційним ланкам. При цьому отримується система двох рівнянь з трьома невідомими:

$$\begin{cases} \frac{K_i T^2 - 2K_p T - 4K_d}{K_i T^2 + 2K_d + 2K_p T} = (z_1 + z_2) = d \\ \frac{2K_d}{K_i T^2 + 2K_d + 2K_p T} = z_1 z_2 = c \end{cases} \quad (3.5)$$

Оскільки рівняння (3.3) та (3.4) мають зайву змінну, то один з параметрів слід визначати за додатковими технологічними умовами. Наприклад, коефіцієнт

інтегральної складової регулятора можна визначити за добротністю за швидкістю

K_V

$$K_V = \lim_{z \rightarrow 1} W_{нч}(z) \cdot K_i \tag{3.6}$$

Рекомендовані значення коефіцієнта добротності за швидкістю залежать від постійних часу об'єкту (Табл. 3.2) [36].

Таблиця 3.2

Залежність коефіцієнту добротності за швидкістю від постійних часу об'єкта

Постійні часу об'єкту T , с	Коефіцієнт добротності за швидкістю K_V
≈ 1	3..10
≈ 10	0,3..1
≈ 100	0,01..0,04
≈ 1000	0,004..0,012

Передатна функція неперервної частини системи регулювання:

$$W(s) = \frac{5}{0.015s^2 + 0.16s + 1} \tag{3.7}$$

На підставі отриманої передатної функції об'єкта, постійна часу об'єкта T наближена до одиниці, тому коефіцієнт добротності за швидкістю K_V обираємо в діапазоні від 3 до 10.

Для визначення дискретної передатної функції неперервної частини системи, до якої входить і фіксатор нульового порядку, потрібно записати код програми, що зображений на рисунку (Рис.3.7.) (в середовищі MATLAB).

```

>> w=tf([5],[0.015 0.16 1]);
>> wz=c2d(w,0.016)

wz =

    0.04028 z + 0.03805
    -----
    z^2 - 1.827 z + 0.8431

Sample time: 0.016 seconds
Discrete-time transfer function.
    
```

Рис. 3.7. Визначення дискретної передатної функції неперервної частини системи в середовищі MATLAB

З допомогою записаного коду була отримана така дискретна передатна функція:

$$W(z) = \frac{0.04028z + 0.03805}{z^2 - 1.827z + 0.8431} \quad (3.8)$$

Коефіцієнт K_T визначаємо, виходячи із заданої добротності за швидкістю:

$$\lim_{z \rightarrow 1} W_{нч}(z) = \frac{0.04028 + 0.03805}{1^2 - 1.827 + 0.8431} \approx 4.86; \quad (3.9)$$

$$K_v \approx 4.86 K_i; \quad (3.10)$$

$$K_i = \frac{K_v}{\lim_{z \rightarrow 1} W_{нч}(z)} = \frac{8}{4.86} \approx 1.636. \quad (3.11)$$

Параметри K_p і K_d визначаємо таким чином, щоб компенсувати два полюси дискретної передатної функції неперервної частини системи [36]. Для цього сформуємо систему рівнянь, яку можна розв'язати в середовищі MATCAD (рис. 3.8.):

$$\begin{aligned}
 & K_p = 1 \quad K_d = 1 \quad T_w = 0.016 \quad K_i = 1.636 \\
 & \text{Given} \\
 & \frac{K_i T^2 - 2K_p T - 4K_d}{K_i T^2 + 2K_d + 2K_p T} = -1.827 \\
 & \frac{2K_d}{K_i T^2 + 2K_d + 2K_p T} = 0.8431 \\
 & \text{Find}(K_p, K_d) = \begin{pmatrix} 0.242006 \\ 0.021932 \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

Рис. 3.8. Розв'язок системи рівнянь для знаходження параметрів K_p і K_d в середовищі MATCAD

Розв'язок цієї системи $K_p = 0.242006$; $K_d = 0.021932$.

Тоді дискретна передаточна функція цифрового ПІД-регулятора буде мати такий вигляд:

$$W_{\text{per}}(z) = 0.242006 + \frac{0.013(z+1)}{(z-1)} + \frac{1.37075(z-1)}{z} \quad (3.12)$$

На рисунку 3.9. зображено структурно-алгоритмічну схему системи автоматичного регулювання очискою стічних вод на птихофабриці.

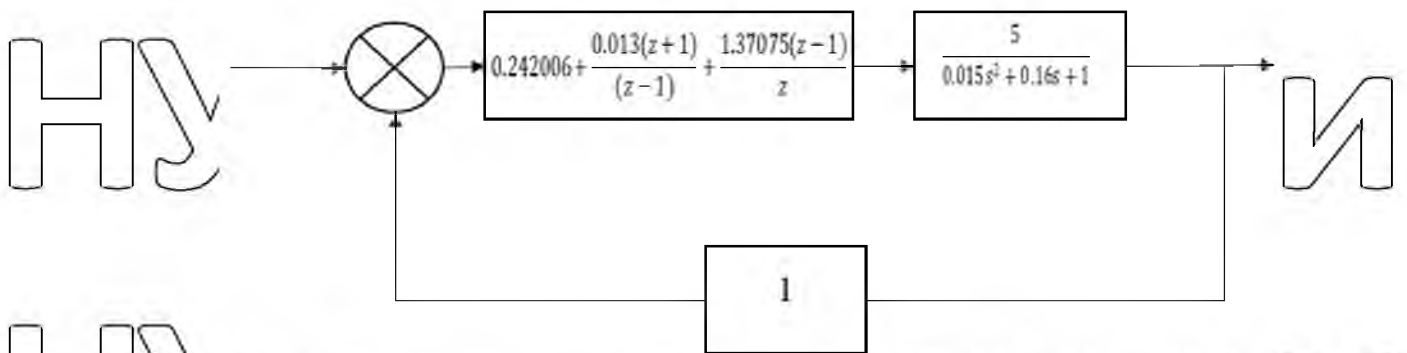


Рис. 3.9. Структурно-алгоритмічна схема САК очискою стічних вод на птихофабриці

3.4 Вибір керуючого елемента

3.4.1 Вибір програмованого логічного контролера (ПЛК)

Програмовані контролери SIMATIC S7-1200 - це нова сім'я системних мікроконтролерів для вирішення різних завдань автоматизації на низькому рівні (Рис.3.10.). Ці контролери мають модульну конструкцію та універсальне призначення. Вони здатні працювати в реальному часі, використовуються для побудови відносно престижних вузлів локальної автоматики або вузлів складних систем автоматичного управління, що підтримують інтенсивний обмін даними через мережі Industrial Ethernet/PROFINET, PROFIBUS, а також PtP (Point-to-Point) з'єднання [47].

Програмовані контролери S7-1200 мають компактні пластикові корпуси з індексом захисту IP20, можуть бути встановлені на стандартну 35-мм DIN-рейку або монтажну плату і працюють в діапазоні температур від 0 до 50 °С або -20 до 60 °С. Вони здатні обслуговувати від 10 до 284 дискретних та від 2 до 51 аналогових каналів введення-виведення. При однакових конфігураціях введення-виведення з контролером S7-200, контролер S7-1200 займає на 35% менший об'єм для монтажу [47].

До центрального процесора (CPU) програмованого контролера S7-1200 можуть бути підключені комунікаційні модулі (CM), сигнальні модулі (SM) і сигнальні плати (SB) для дискретних і аналогових сигналів. Разом з ними використовується 4-канальний комутатор Industrial Ethernet (CSM 1277) і модуль живлення (PM 1207) [47].

Кожен центральний процесор S7-1200 має вбудований Ethernet-інтерфейс, який використовується для програмування та діагностики, обміну даними з іншими системами автоматизації, пристроями та системами інтерфейсу людина-машину. Всі типи центральних процесорів мають два аналогових входи, набір дискретних входів і виходів, а також блок живлення датчиків з вихідною напругою 24 В. Підключення зовнішніх датчиків здійснюється через знімні термінальні блокі з контактами під гвинт. Центральні процесори допускають

підключення до трьох комунікаційних модулів та встановлення однієї сигнальної плати (SB) введення-виведення. Крім того, до CPU 1212C може бути підключено до 2, до CPU 1214C, 1215C і 1217C - до 8 сигнальних модулів (SM) [47].

Сигнальні модулі (SM) розширень дозволяють адаптувати контролер до вимог задачі. Вони дозволяють збільшувати кількість входів і виходів, з якими працює центральний процесор, доповнювати систему введення-виведення дискретними і аналоговими каналами з потрібними параметрами входних і вихідних сигналів. Сигнальні модулі встановлюються справа від центрального процесора (крім CPU 1211C). Комунікаційні модулі встановлюються зліва від центрального процесора і підключаються до його внутрішньої шини через вбудовані в кожний модуль з'єднувачі. Максимально можна використовувати 3 будь-яких комунікаційних модуля з усіма типами центральних процесорів [47].



Рис. 3.10. (6ES7217-1AG40-0XB0) Програмований контролер серії SIMATIC

S7-1200

3.4.2 Вибір частотного регулятора

Частотний перетворювач Siemens SINAMICS V20 є відомим інтегрованим пристроєм для керування об'єктами в системах автоматизації та керування, і вибір цієї моделі для вашого об'єкта керування може бути обґрунтованим (рис.3.11.) Давайте розглянемо деякі характеристики цього перетворювача, як

наведені в таблиці 3.3, і зрозуміємо, чому цей перетворювач може бути вигідним в вашому контексті [42]:

1. Номінальна потужність: Ваш обраний перетворювач має номінальну потужність 3 кВт. Це означає, що він може керувати пристроями з потужністю до 3 кВт, що відповідає вашим потребам.

2. Напруга і частота: Перетворювач підходить для підключення як до однофазної мережі 220В, так і до трифазної мережі 380В. Це дозволяє використовувати його в різних умовах.

3. Енергоефективність: SINAMICS V20 має режим ECO, який дозволяє економити електроенергію до 60%. Це важливо для підприємств, які прагнуть знизити витрати на електроенергію.

4. Інтерфейси: Перетворювач оснащений інтерфейсами USS і Modbus RTU, що робить його сумісним з різними системами зв'язку та забезпечує можливість інтеграції з іншими обладнаннями та програмними засобами.

5. Розмір і монтаж: Модель має компактні розміри і може бути встановлена наскрізь або бік-о-пліч, що дозволяє оптимізувати простір у вашому обладнанні.

Загалом, вибір перетворювача SINAMICS V20 виправданий для об'єкта керування, особливо якщо він відповідає технічним та функціональним вимогам виробничого процесу. Пристрій має багато переваг, включаючи ефективність, можливості зв'язку і можливість використання в різних електричних мережах

[42].

Переваги:

- Наявність режиму підтримки працездатності в умовах нестабільного електроживлення, що забезпечує безперебійну роботу обладнання;
- широкий інтервал напруг;
- модернізована система охолодження, яка забезпечує надійність експлуатації;
- подвійний лаковий шар на платах і електронних компонентах;

• широкі функціональні можливості, серед яких - оперативне обмеження струму, промивка насоса, організація каскадирования електродвигунів.

- Технічні дані перетворювачів частоти Sinamics V20:
- Напруга живлення / потужність: 1AC 200 - 240 В (+ / -10%) / 0,12 - 3 кВт 3AC 380 - 480 В (+ 10% / -15%) / 0,37 - 30 кВт.
- Вихідна частота: 0 - 550 Гц.
- Допустиме перевантаження: 150% на 60с за навантажувальний цикл в 300с.

• Ступінь захисту: IP20.

• Конструкція: компактний моноблочний перетворювач, який об'єднує в одному пристрої керуючий модуль (CU), силовий модуль (PM) і вбудовану операторську панель.

• Робочі температури: -10 до +40 °С без погіршення номінальних параметрів, +40 до +60 °С з погіршенням номінальних параметрів

• Максимальна вологість повітря: 95% (без конденсату).

- Тип управління: U / f, U² / f, FCC, параметризуемая U / f.
- Входи: 4 цифрових входи: (оптична ізоляція, вільний опорний потенціал (власна група потенціалів), вибір логіки NPN / PNP, 2 аналогових входи: біполярний, режим по току (0/4 ... 20 мА) / напрузі (-10 ... +10 В) і уніполярний, режим по току (0/4 ... 20 мА) / напрузі (0 ... +10 В). Можуть використовуватися як цифрові входи.

• Виходи: 2 цифрових входи: DO1 - транзисторний вихід, DO2 - релейний вихід, один аналоговий вихід - режим по току (0/4 ... 20 мА).

- Комунікаційні інтерфейси: USS / Modbus RTU.
- Гальмування: реостатне гальмування (вбудований гальмівний модуль від 7,5 кВт), гальмування постійним струмом, змішане гальмування.

• Електромагнітна сумісність (EMC): з вбудованим мережевим фільтром категорії C2 / C3 відповідає EN 61800-3.

• Стандарти: EAC, CE, CULus, C-tick, ГОСТ Р.



Рис. 3.11. Зовнішній вигляд регулятора - 6SL3210-5BE23-0CV0 Перетворювач частоти (3kW 3AC 380V) SIEMENS SINAMICS V20 (з EMC-фільтром C2)

Таблиця 3.3

Характеристики частотного перетворювача

Повне найменування	6SL3210-5BE23-0CV0 Перетворювач частоти (3kW 3AC 380V) SIEMENS SINAMICS V20 (з EMC-фільтром C2)
Серія	SINAMICS V20
Напруга, В	380 В
Потужність, кВт	3 кВт
Струм, А	8.6 А
Кількість фаз на вході	3
Кількість фаз на виході	3
Ступінь захисту (IP)	IP20

Висота, мм	182 мм
Ширина, мм	184 мм
Глибина, мм	169 мм

3.4.3 Вибір панелі керування

Панелі операторів серії SIMATIC HMI Basic Panel можуть використовуватися для вирішення завдань оперативного управління та моніторингу на рівні виробничих машин та вузла новінок у всіх галузях промислового виробництва, а також у системах автоматизації будівель [48].

Функції:

- Формування екранних зображень з використанням перманентних вікон та шаблонів.

- Поля введення-виводу для відображення та модифікації технологічних параметрів.
- Кнопки для безпосереднього запуску функцій та дій. До 16 конфігурованих функцій, що запускаються з клавіатури.

- Графіка для використання іконок замість текстових позначень функціональних клавіш та кнопок. Може використовуватися для створення фонових зображень екрана. Інструментальні засоби конфігурування містять велику бібліотеку готових графічних та інших об'єктів. Для розробки зображень можуть використовуватись будь-які графічні редактори з інтерфейсом OLE. Наприклад, PaintShop, Designer, CorelDraw і т.д [48].

- Векторна графіка в середовищі інструментальних засобів проектування можуть створюватися найпростіші геометричні об'єкти (лінії, кола, багатокутники тощо).

- Фіксовані тексти для маркування функціональних клавіш, вікон, полів, зображень, технологічних параметрів і т.д. з використанням шрифтів різного розміру [48].

• Графіки кривих та стовпчикові діаграми для відображення динамічно змінюваних параметрів.

• Переключення мов: 5 інтерактивних мов на проєкт, що вибираються з 32 підтримуваних мов, включаючи російську мову. Виведення тестової інформації на екран російською мовою. Введення текстової інформації лише англійською мовою.

• Виведення текстової інформації та графіки в залежності від обраної мови.

• Керування доступом користувачів (забезпечення безпеки) відповідно до вимог різних секторів промислового виробництва:

• Використання ідентифікаторів та паролів користувачів.

• Визначення прав доступу різних груп користувачів.

• Сигнальна система: дискретні сигнали тривоги.

• Аналогові повідомлення.

• класи повідомлень, що визначаються вільно (наприклад, повідомлення про стани/відмови) для визначення варіантів їх відображення, а також підтвердження їх отримання.

• Хронологія повідомлень.

• Архівування даних в USB Stick.

• Управління рецептурами.

• Тексти підказок для екранних зображень, повідомлень та змінних.

• Арифметичні функції.

• Моніторинг граничних значень вхідних та вихідних величин.

• Індикатори для відображення станів машини або установки.

• Планувальник завдань для циклічного виконання функцій.

• Використання шаблонів зображень.

Просте обслуговування та конфігурування [48]:

НУБІП України

- Збереження/відновлення параметрів конфігурації, операційної системи та мікропрограм з комп'ютера, оснащеного програмним забезпеченням ProSave.
- Завантаження конфігурації через MPI/PROFIBUS DP або PROFINET.
- Автоматична ідентифікація процесів завантаження.
- Регулювання контрастності зображення та калібрування екрана.
- Очищення екрану.
- Робота без буферних батарей.

Ця панель оператора використовується в автоматизованих системах для керування та відображення інформації, і її конкретне застосування може рзнитися залежно від конкретних потреб та проектування (рис.3.12.) [48].



Рис.3.12. (6AV2123-2DB03-0AX0) Панель оператора KTP400 PN Basic

3.4.4 Вибір керованого комутатора

Siemens SCALANCE XC206-2SFP є промисловим керованим ІЕ комутатором, призначеним для використання в промислових мережах. Ця модель, 6GK5206-2BS00-2AC2, має наступні характеристики [45]:

- Кількість портів: 2 SFP (Small Form-Factor Pluggable) порти для оптичного з'єднання.

- Підтримка швидкості передачі даних: Він підтримує швидкість передачі даних на рівні 10/100/1000 Мбіт/с, що робить його придатним для різних типів мереж і пристроїв [45].

- Захист від впливів навколишнього середовища: Цей комутатор володіє захистом IP30 від впливів пилу і вологи, що дозволяє йому працювати в різних умовах.

- Промисловий стандарт: Він відповідає стандартам промислового середовища, що робить його надійним і підходить для застосувань в сферах, де важлива стійкість до впливів навколишнього середовища [45].

- Можливості керування і моніторингу: Цей комутатор підтримує різні функції керування мережею, включаючи VLAN, Quality of Service (QoS) і інші. Він також може бути інтегрованим в системи моніторингу [45].

- 6 електричних RJ45 портів 10/100 Мбіт/с.
- 1 консольний порт; світлодіодна індикація.
- Резервне живлення 24 В.

- Розширений температурний діапазон (від -40 °C до +70 °C).

- Монтаж на DIN-рейку/S7 профілі/стіну.

- Функції резервування.
- Офісні функції (RSTP, VLAN,...).

- PROFINET IO-пристрій.

- Ethernet/IP-сумісність; слот для C-PLUG.

Загалом, Siemens SCALANCE XC206-2SFP є надійним і промисловим комутатором, призначеним для застосувань в важких умовах промисловості, де необхідна висока стійкість і швидкість передачі даних (рис.3.13.) [45].



Рис. 3.13. Siemens SCALANCE XC206-2SFP промисловий керований ІЕ комутатор, 6GK5206-2BS00-2AC2

3.5. Дослідження системи автоматичного регулювання очистки стічних вод на птахофабриці

Створюємо модель цифрової системи з ПІД-регулятором в середовищі MATLAB/Simulink (рис. 3.14) та будуємо перехідний процес (рис. 3.15).

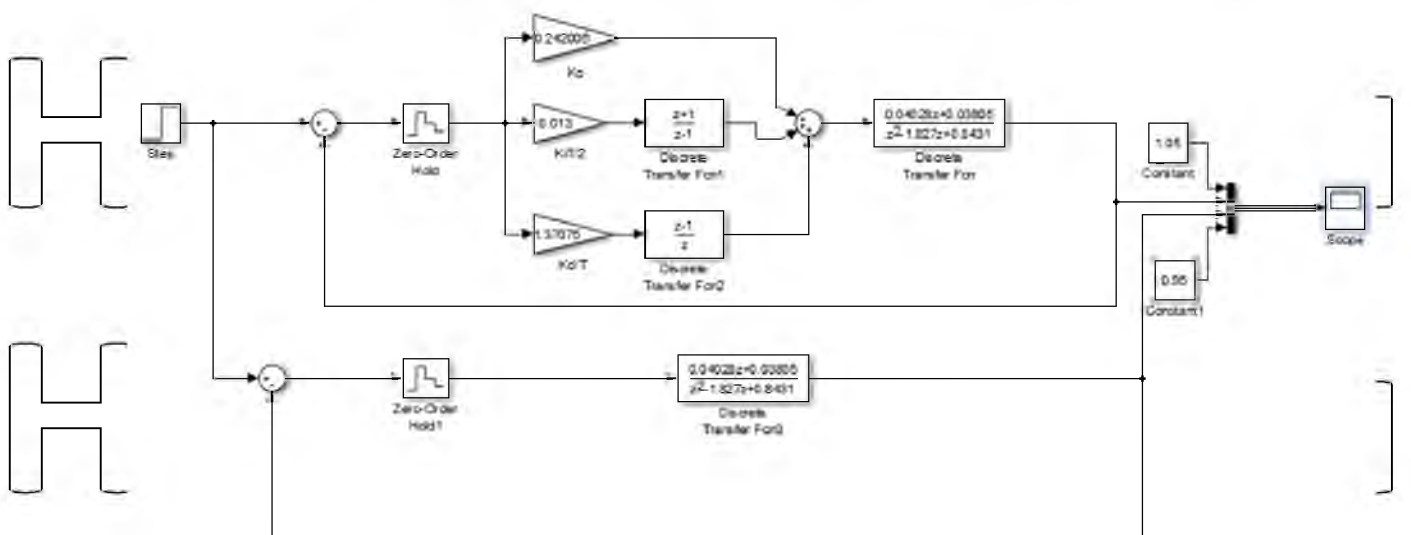


Рис. 3.14 Simulink-модель цифрової системи з ПІД-регулятором

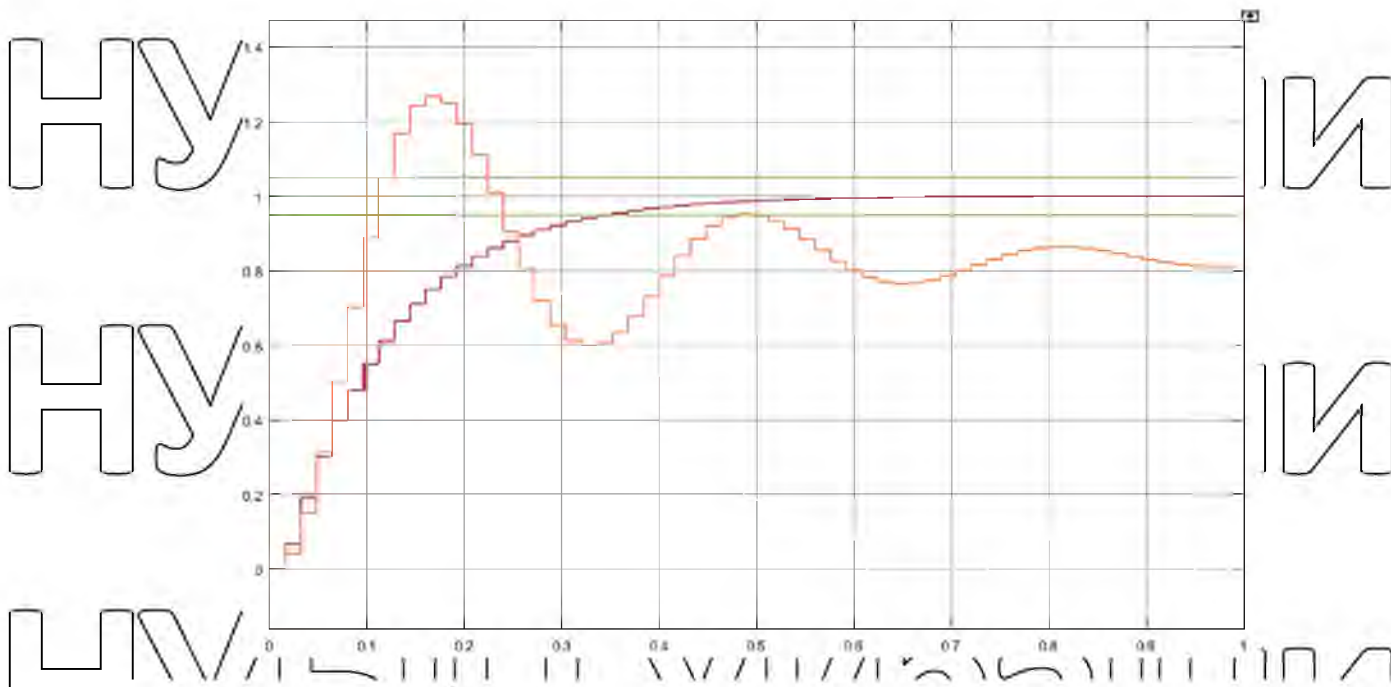


Рис. 3.15 Перехідний процес цифрової системи з ПД-регулятором та з П-регулятором

1) Статична похибка:

НУБІП України $\delta = X_{зад} - X_{уст} = 1 - 1 = 0.$ (3.13)

2) Час регулювання:

НУБІП України $t_p = 0.6с.$ (3.14)

3) Перерегулювання:

НУБІП України $\sigma = \frac{X_{max} - X_{уст}}{X_{уст}} \times 100\% = \frac{1 - 1}{1} \times 100\% = 0\%.$ (3.15)

4) Коливальність: $n = 0.$

НУБІП України За завданням $t_p < T_{СК}$; $\sigma = 0\%$; $\delta < 0.01$, $n=0$ Можна побачити, що показники якості, в повній мірі, задовільняють наші вимоги.

Зробимо висновок, що система стійка, тому що в ній відсутні коливання $n=0$.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 4 СИНТЕЗ НЕЙРОІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ. РОЗРОБКА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ

4.1 Опис програмного забезпечення для синтезу нейроінформаційної системи

Для створення нейроінформаційної мережі керування очисткою стічних вод використаємо **ANFIS Editor** в **MatLab**.

Графічний інтерфейс гібридних (нечітких) нейронних систем можна активувати за допомогою функції "anfisedit" з режиму командного рядка.

Викликання цієї функції призводить до відкриття редактора гібридних систем, який відомий як "ANFIS Editor" або "ANFIS-редактор" (див. рис. 4.1) [39].

НУБІП України

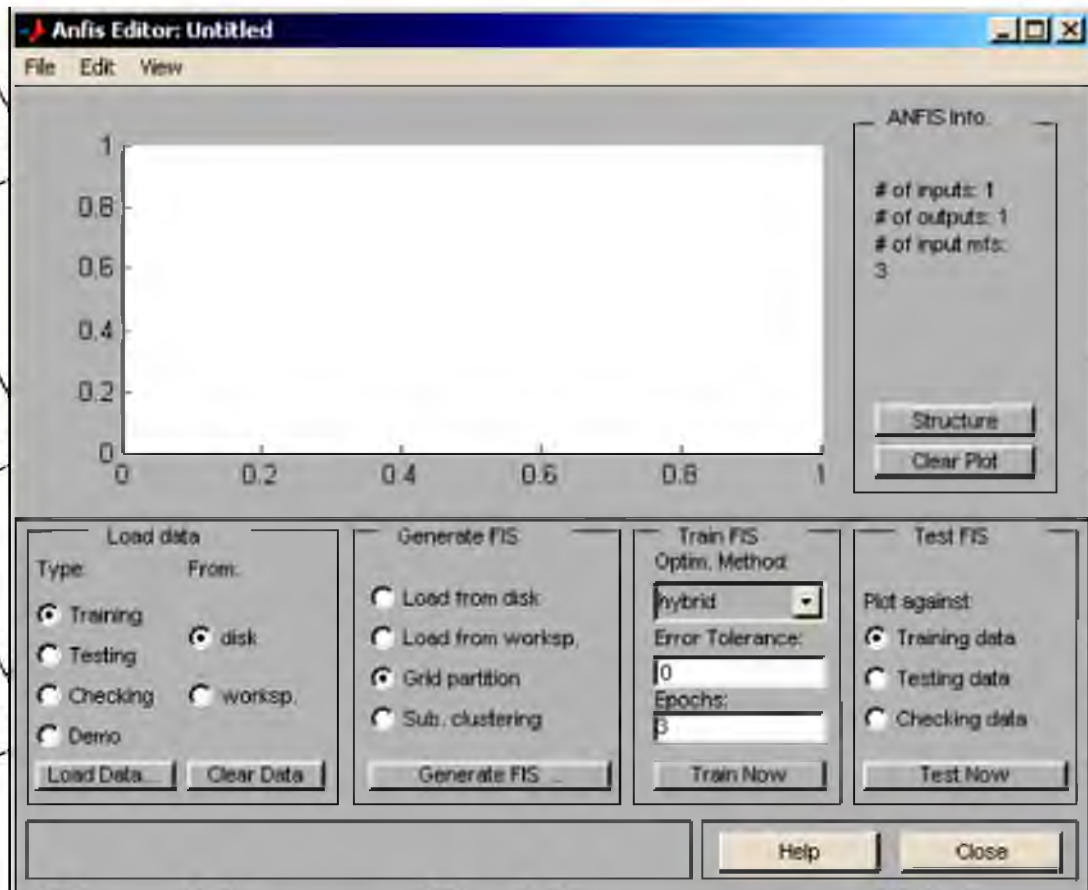


Рис. 4.1. Вікно редактора гібридних (ієрархічних) нейронних систем

Цей редактор дозволяє створювати або завантажувати структуру гібридної системи, переглядати її структуру, налаштовувати параметри та перевіряти якість функціонування такої системи. Створення структури, налаштування параметрів та перевірка виконуються на основі наборів даних: навчальних (Training data), перевірочних (Checking data) і тестових (Testing data). Ці дані повинні бути заздалегідь представлені у вигляді текстових файлів із розширенням ".dat" та розділенням табуляціями. Рекомендується створювати ці файли за допомогою текстового редактора, наприклад, "Блокнот". Перші стовпчики відповідають входним змінним, а останній (лівий) стовпець відповідає єдиній вихідній змінній. Кількість рядків у цих файлах повинна дорівнювати кількості зразків (див. рис. 4.2) [39].

Щодо обсягу цих вибірок не існує жорстких рекомендацій, але загалом доречно виходити з принципу "чим більше даних, тим краще". Навчальні і

перевірочні вибірки використовуються під час налаштування параметрів гібридної мережі.

Перевірочна вибірка служить для визначення того, чи відбувається перенавчання мережі. Перенавчання може статися, коли помилка на навчальній послідовності прагне до нуля, а на перевірочній послідовності зростає. Важливо відзначити, що наявність перевірочної вибірки не є обов'язковою, але вона бажана для виявлення перенавчання [34]

Файл	Редагування	Формат	Вигляд	Довідка
17	54.00	4.16		
17	34.45	1.70		
18	64.89	6.01		
18	85.53	10.45		
17	83.97	10.07		
17	94.66	12.80		
16	16.33	0.38		
17	55.32	4.37		
17	81.90	9.58		
17	38.27	2.09		
17	46.20	3.05		
18	26.19	0.98		
18	23.06	0.76		
18	40.45	2.34		
17	44.53	2.83		
16	17.64	0.44		
16	48.64	3.38		
15	51.92	3.85		
14	62.70	5.62		
14	52.69	3.97		
14	53.46	4.08		
14	52.60	3.95		
14	86.85	10.78		
13	58.29	4.85		
12	56.28	4.52		
11	49.74	3.53		
11	99.44	14.13		
11	77.31	8.54		

Рис. 4.2. Створення у текстовому редакторі “Блокнот” вибірок для ANFIS-editor

1 –й стовпчик – температура вхід 1, 2-й стовпчик – електропровідність вхід 2, 3 –й стовпчик струм – вихід (повні вибірки для тренування мережі надані в додатках)

Тестувальна вибірка використовується для оцінки якості функціонування

навченої мережі

Пояснення пунктів меню та опцій редактора ANFIS:

1. File (Файл).

- Можливість завантаження та збереження файлів, пов'язаних із системою ANFIS.

2. View (Вид):

- Подання графічного інтерфейсу редактора ANFIS.

3. Edit (Редагування):

- Можливість відміни останньої виконаної дії (Undo).

4. Load Data (Завантажити дані):

- Вибір типу даних (Training, Testing, Checking, Demo) для завантаження.
- Вибір джерела даних (з диска або з робочої області MATLAB).

- Дві кнопки: "Load Data" для завантаження даних і "Clear Data" для очищення введених даних.

5. Generate FIS (Створення нечіткої системи висновку):

- Завантаження структури системи з диска або з робочої області MATLAB.

- Розбиття областей визначення вхідних змінних на підобласті (незалежно для кожного аргумента) або розбиття всієї області визначення аргументів у комплексі для всіх аргументів.

- Кнопка "Generate FIS" для запуску процесу створення гібридної системи.

6. Train FIS (Навчання нечіткої системи висновку):

- Визначення методу навчання системи (гібридний або зворотнього поширення помилки).

- Встановлення рівня поточної сумарної помилки навчання та кількості циклів навчання (Epochs) для закінчення процесу навчання.

- Кнопка "Train Now" для початку навчання.

7. ANFIS Info (Інформація ANFIS):

- Відображення інформації про структуру системи ANFIS, включаючи кількість входів, виходів та функцій належності входів.

- Кнопка "Structure" для перегляду структури мережі.

- Кнопка "Clear" для очищення результатів.

8. Test FIS (Тестування нечіткої системи висновку):

- Проведення тестування системи та відображення результатів у вигляді графіків.

- Графіки для навчальної, тестової та перевірконої вибірок даних.

- Кнопка "Test Now" для запуску процесу тестування.

Цей редактор призначений для роботи з алгоритмом нечіткого висновку Sugeno, і він має різні опції для завантаження даних, створення системи висновку, навчання та тестування цієї системи [39].

4.2 Створення нейроінформаційної системи

Потрібно вказати, що струм є вихідним параметром, який використовується для керування насосами подачі або відкачки забрудненої води у аеротенку, а температура та електропровідність вхідної води є вхідними параметрами для цього процесу (див.рис 4.2).

Струм буде використаний для керування насосами та іншими пристроями для подачі або відкачки забрудненої води в аеротенк. Струм показує, коли потрібно включати або вимикати насоси або регулювати їх швидкість в залежності від обсягу забруднення води.

Температура води може впливати на хімічні та біологічні процеси очистки стічних вод в аеротенку. Висока температура може сприяти біологічній активності бактерій і більш швидкому розкладу забруднень. Тому температуру може бути важливо контролювати для забезпечення ефективної очистки.

Електропровідність води вказує на кількість розчинених солей та іонів у воді. Ця інформація може використовуватися для визначення складу забруднень в стічних водах, що може вплинути на методи їх очищення.

Знаючи ці вхідні параметри (температуру та електропровідність води), можна розробити систему керування, яка реагує на зміни цих параметрів, і при необхідності регулює роботу насосів для оптимальної очистки стічних вод в аеротенку.

Для завантаження навчальних даних в редакторі ANFIS виберемо тип даних "Training" і натиснемо кнопку "Load Data". У вікні діалогу, яке з'явиться, вкажемо розташування та імя файлу з даними. Після вибору файлу в графічній частині вікна редактора з'явиться набір точок, які відображають введені дані (див. рис. 4.3) [39].

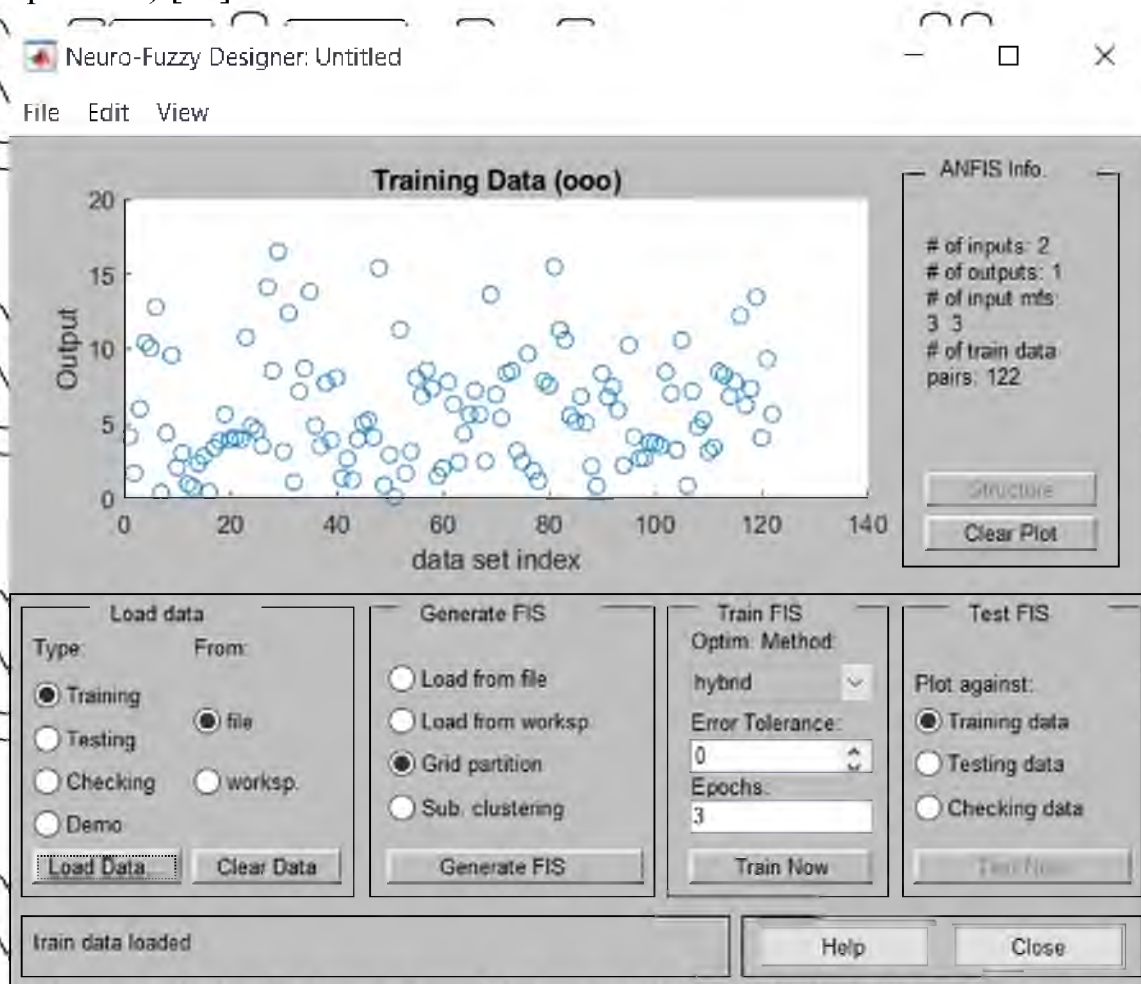


Рис. 4.3. Вікно ANFIS-редактора після завантаження навчальної вибірки

В групі опцій "Generate FIS" за замовчуванням активована опція "Grid partition". Ми залишимо ці налаштування без змін і натиснемо кнопку "Generate FIS". Після цього з'явиться діалогове вікно (див. рис. 4.4), де можна задати кількість і типи функцій належності. Задамо кількість функцій належності: для першого входу - 3 (температура), для другого - 5 (електропровідність), тип функцій належності обираємо *trimf* та натискаємо кнопку "OK", щоб зберегти зміни. Після цього повернемося до основного вікна ANFIS-редактора. Тепер

структура гібридної мережі створена, і її графічний вигляд можна переглянути за допомогою кнопки "Structure" (див. рис. 4/5) [39].

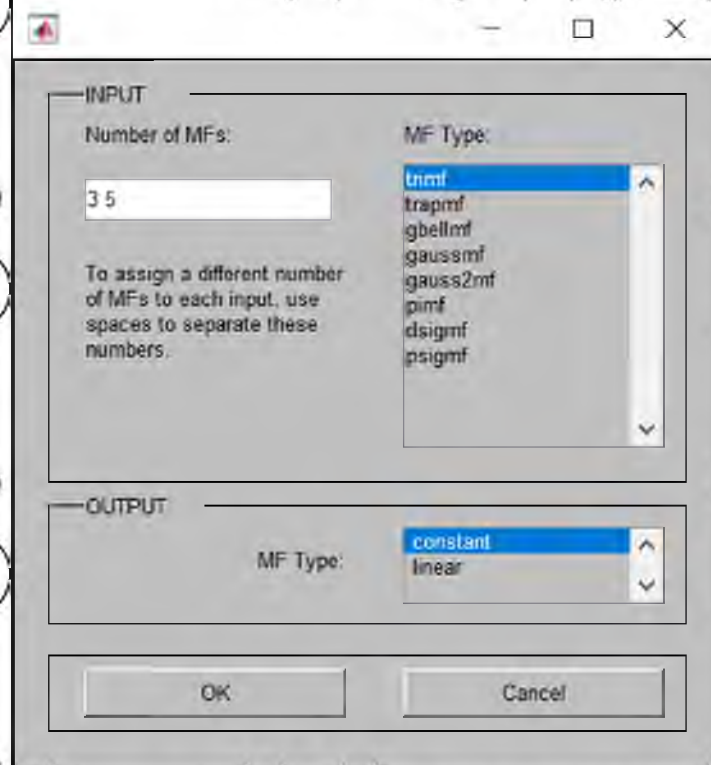


Рис. 4.4. Вікно задання функції належності

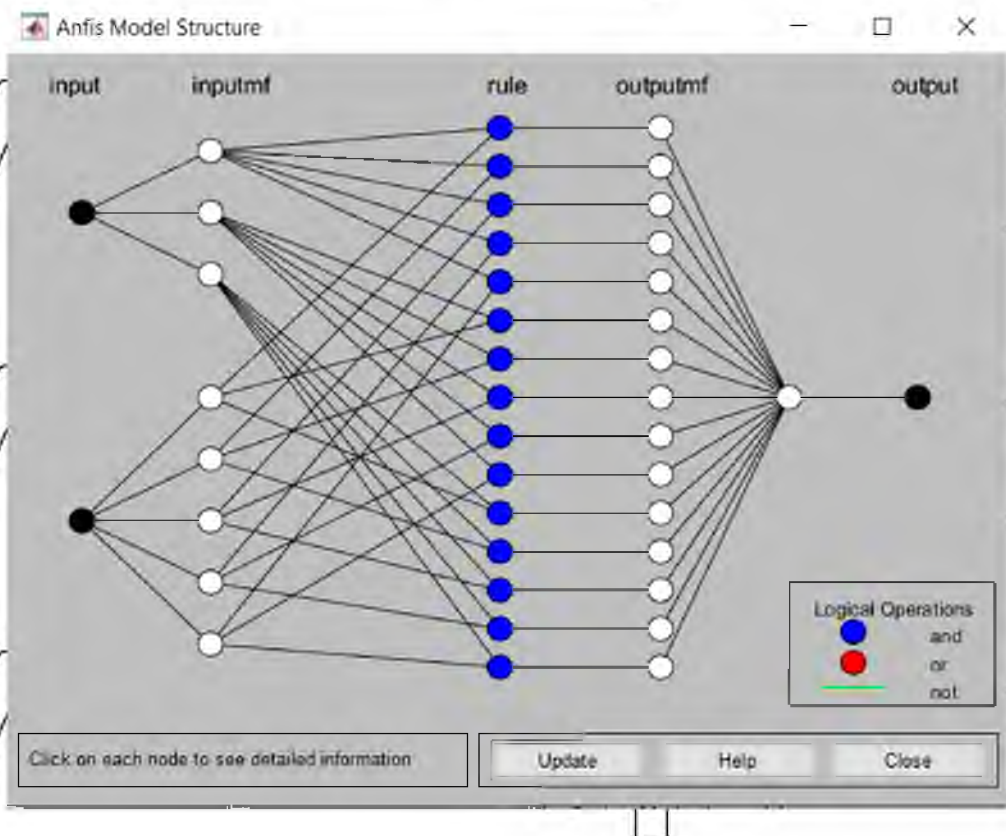


Рис. 4.5. Структура створеної гібридної мережі

В опціях "Train FIS" ми залишимо налаштування за замовчуванням для методу (гібридний) та рівня помилки (0). Але ми змінимо кількість циклів навчання на 50 і натиснемо кнопку "Train Now" для початку процесу навчання.

Результат у вигляді графіка залежності помилки мережі від числа проведених циклів навчання буде представлений на рисунку 4.6. Цей графік покаже, що фактично навчання закінчилося після четвертого циклу [39].

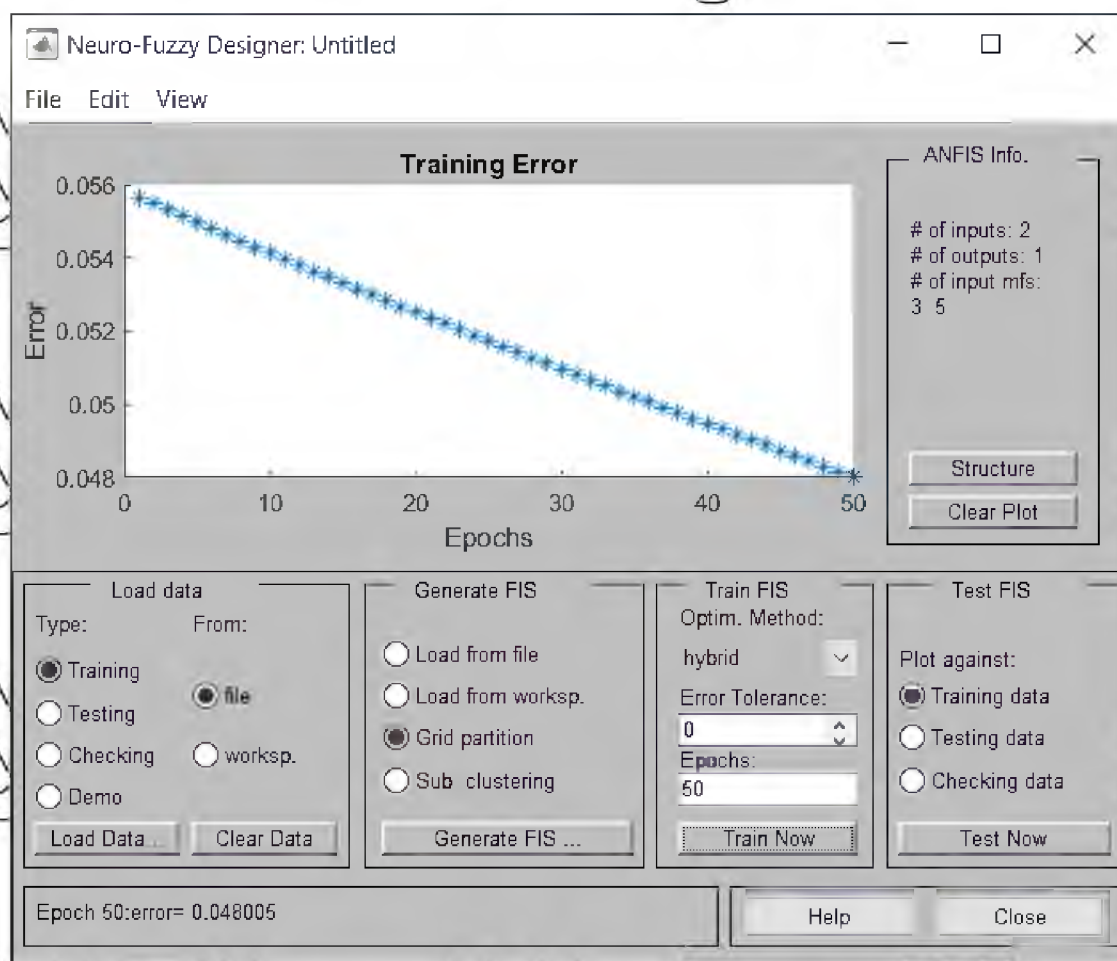


Рис. 4.6. Результат навчання мережі

Тепер, натиснувши кнопку "Test Now", можна розпочати процес тестування навченої мережі (див. рис. 4.7.).

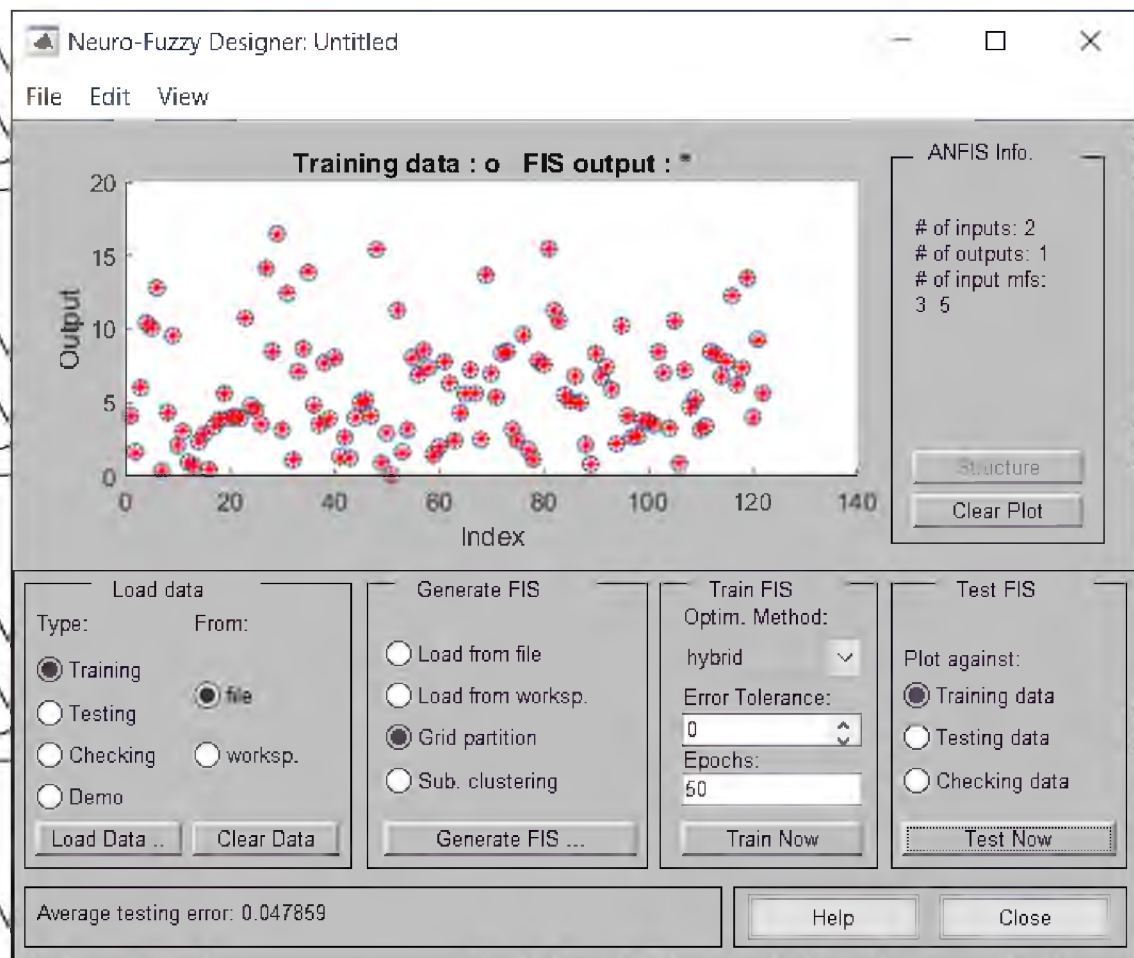


Рис. 4.7. Результат тестування навченої системи

Для збереження розробленої системи в файл на диску з ім'ям "Train" та розширенням ".fis", ви можете використовувати наступну команду:

```
writefis(anfis, 'Train.fis')
```

Ця команда збереже створену систему на диск.

Далі, для відкриття створеного файлу та подальшого редагування системи засобами FIS-редактора в командному рядку MATLAB ви можете використовувати наступну команду:

```
fuzzy('Train.fis')
```

Ця команда відкриє файл "Train.fis" і дозволить вам редагувати та досліджувати систему в FIS-редакторі.

Зараз ви можете виконувати всі необхідні дії для редагування системи та проведення досліджень (див. рис. 4.8) [39].

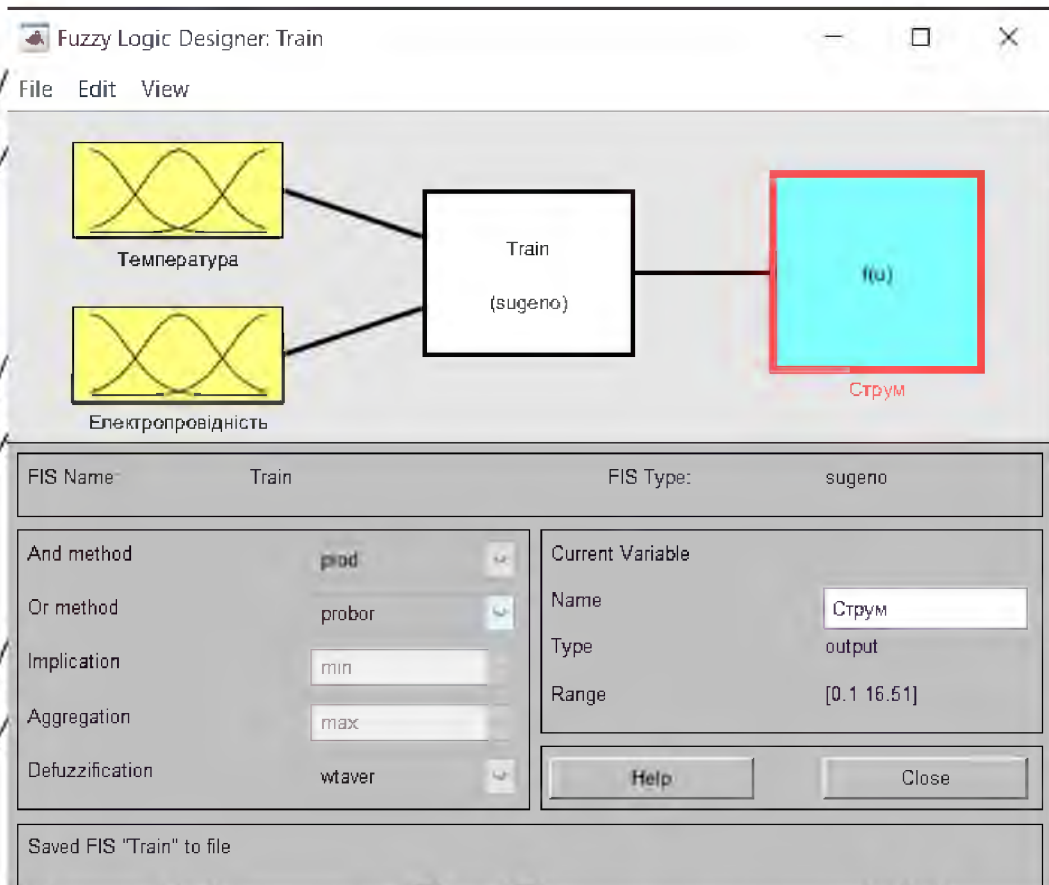


Рис. 4.8 Редагування створеної мережі в FIS-редакторі

Для кращого дослідження створимо ще декілька мереж з іншими функціями належності, використаємо функції **trampf** та **gaussmf**.

На рисунку 4.9 можна побачити результат навчання мережі з функціями належності **trampf**.

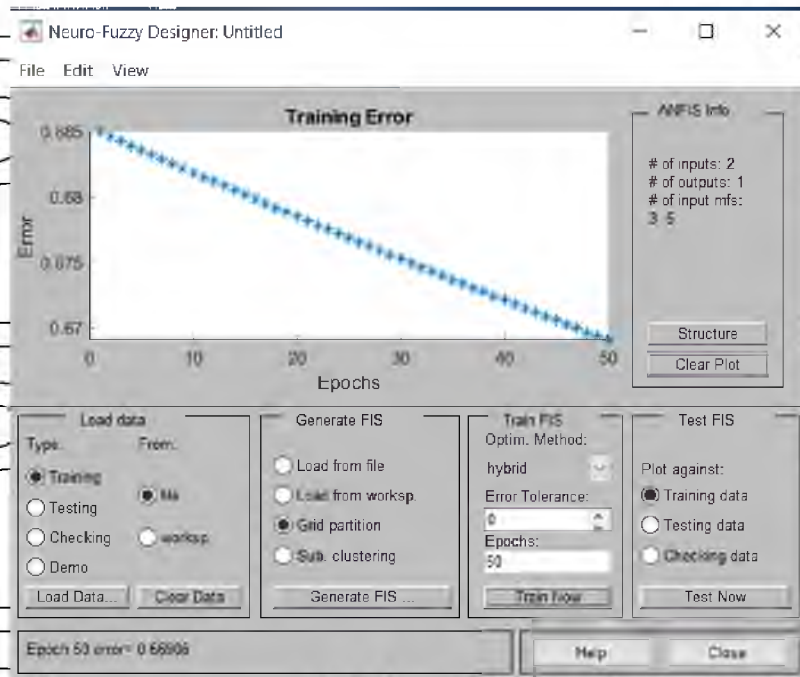


Рис. 4.9 Результат навчання мережі з функціями належності **trampf**

На рисунку 4.10 можна побачити результат тестування навченої системи з функціями належності **trampf**.



Рис. 4.10 Результат тестування навченої системи з функціями належності **trampf**

На рисунку 4.11 можна побачити результат навчання мережі з функціями належності **gaussmf**

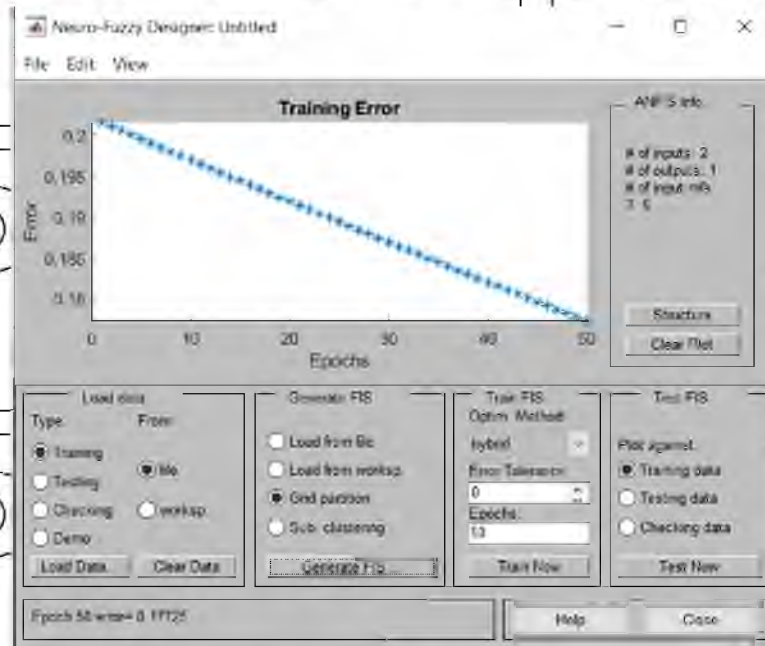


Рис. 4.11 Результат навчання мережі з функціями належності **gaussmf**

На рисунку 4.12 можна побачити результат тестування навченої системи з функціями належності **gaussmf**.

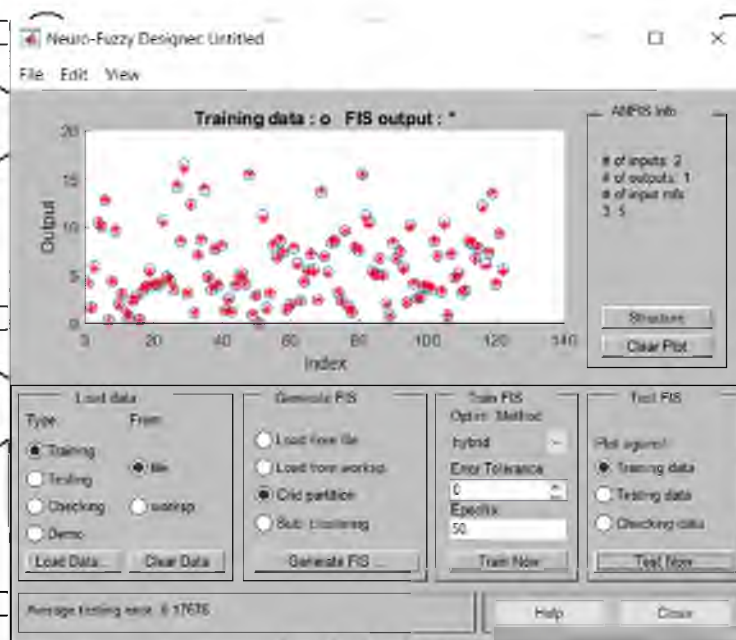


Рис.4.12 Результат тестування навченої системи з функціями належності **gaussmf**

ТАБЛИЦЯ
 Отже, можемо побачити що мережа з функціями належності **trimf** показала

себе краще за мережі з іншими функціями. Із графіків видно, що дослідні дані фізичні апроксимуються до даних на графіку. Відхилення від фізичних даних представлені у вигляді помилок на графіку тестування та навчання.

4.3 Розробка інтелектуальної системи

Технічне забезпечення системи керування подачею забрудненої води в аеротенк та відкачки очищеної води включає в себе сучасні засоби автоматизації, які відповідають розробленому алгоритму роботи системи керування.

Ця система керування складається з двох рівнів. На першому рівні є програмований контролер серії SIMATIC S7-1200, операторська станція та промисловий комутатор IB Siemens SCALEANCE XC206-2SFP, які взаємодіють через мережу Ethernet. Цей контролер може підключати різні зовнішні пристрої через аналогові та цифрові входи, а також послідовні інтерфейси, RS-485/RS-232.

Ця структура надає широкі можливості для комунікації та підключення різноманітних пристроїв до системи верхнього рівня за допомогою стандартних інтерфейсів-протоколів.

Другий рівень системи керування використовує операторську панель KTP400 PN Basic, установки для вимірювання параметрів та інші пристрої з інтерфейсом RS-485/RS-232. Установка для моніторингу зовнішніх параметрів включає датчик електропровідності, контролер і датчики температури.

Операторська станція отримує дані з контролерів через мережу Ethernet для ведення журналу подій з реєстрацією реального часу, помилок та нештатних ситуацій у базі даних. На комп'ютері відображаються всі контрольовані параметри системи подачі забрудненої води на вході системи та очищеної на виході, а також можливість встановлення нових налаштувань для регуляторів і клапанів.

Для обміну даними між контролерами використовується мережеві змінні, які дозволяють оператору бачити температуру та електропровідність вхідної та вихідної води, а також електричний струм, який подається в систему. Датчики, що вимірюють ці фізичні параметри, підключені до ПЛК на верхньому рівні.

Контролер верхнього рівня відповідає за регулювання рівня води, контроль температури вхідної води, вимірювання тиску в системі, регулювання струму в залежності від температури та електропровідності вхідної та вихідної води для насосів, а також реєстрацію всіх параметрів та формування бази даних для подальшого вдосконалення нейронної мережі та прогнозування значень.

Система на рівні подачі забрудненої води автоматично регулює струм за двома показниками вхідної води, управляє насосами і електромагнітними клапанами, а також переходить до відкачки очищеної води.

Отже, ця інтелектуальна система має наступний функціонал:

1. Збір та обробка даних:

- Збір даних з датчиків електропровідності, температури, тиску та інших параметрів води на вході та виході системи
- Передача даних через мережу Ethernet від контролера верхнього рівня до інтегрованої бази даних.

2. Моніторинг та візуалізація:

- Відображення реального часу параметрів системи на операторській станції та операторській панелі KTR400 PN Basic.
- Можливість ведення журналу подій, реєстрація помилок та нештатних ситуацій у базі даних.

3. Керування та регулювання:

- Автоматичне регулювання рівня води в системі.
- Керування насосами та електромагнітними клапанами в залежності від параметрів води, таких як температура, електропровідність та тиск.
- Перехід від режиму подачі забрудненої води до режиму відкачки очищеної води.

4. Аналітика та передбачення:

- Збір даних для подальшого аналізу та оптимізації роботи системи.
- Формування бази даних для навчання нейронної мережі з метою прогнозування значень та оптимізації процесів.

5. Зовнішні інтерфейси:

- Можливість підключення різноманітних пристроїв до системи через аналогові, цифрові входи, а також послідовні інтерфейси RS-485/RS-232.

Використання мережевих змінних для обміну даними між контролерами та операторською станцією.

Ця інтелектуальна система значно полегшить керування та моніторинг системи очищення та подачі води, забезпечить автоматизацію процесів та надасть можливість оптимізувати їх роботу на основі аналізу даних та передбачень (Рис. 4.13.).

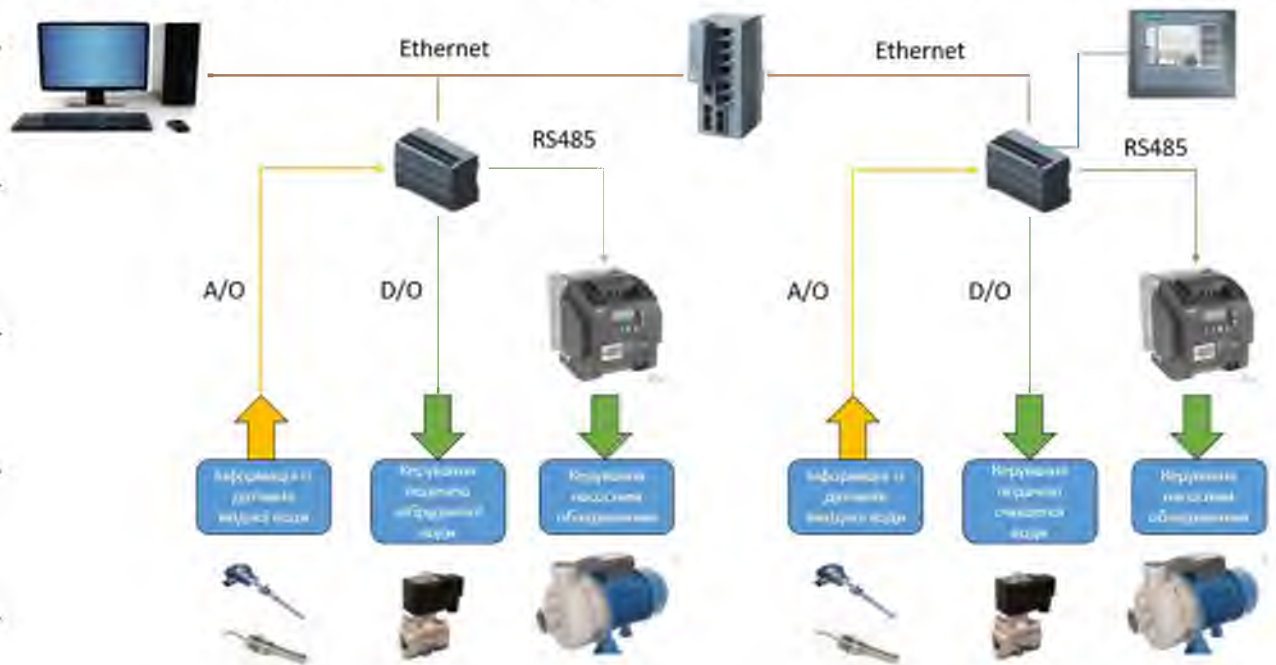


Рис. 4.13. Схема системи керування процесом

На рисунку 4.14. можна побачити структурну схему керування процесом.

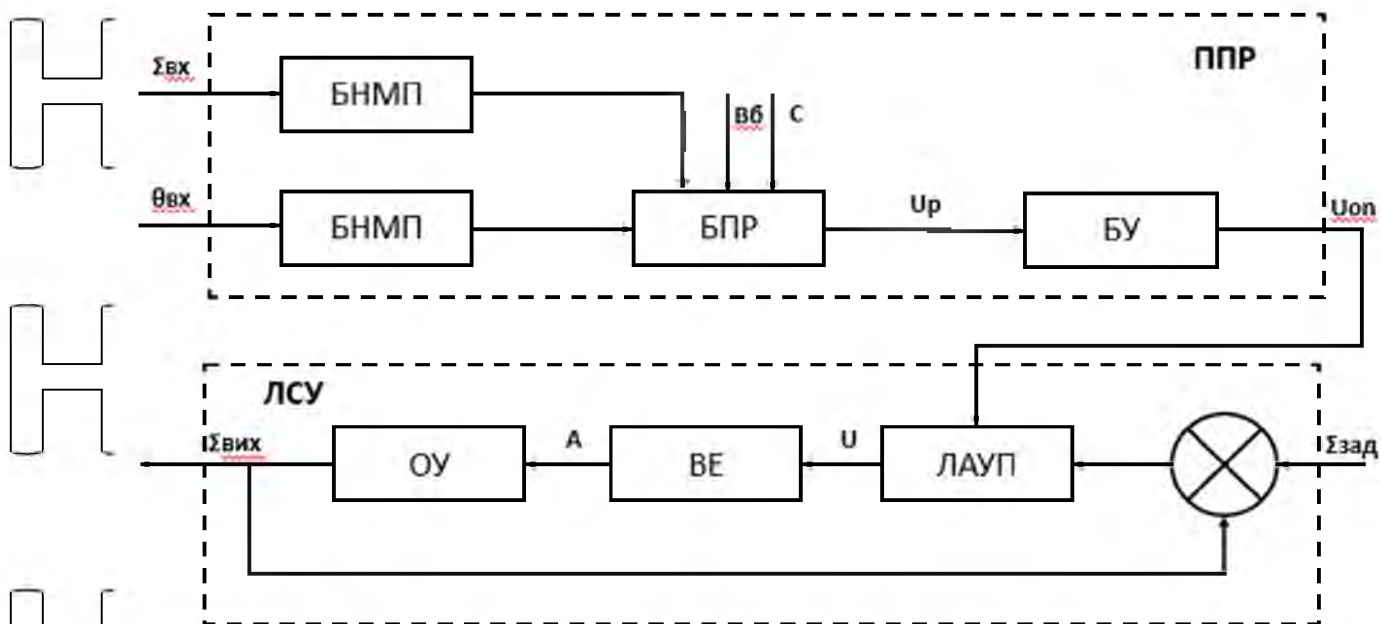


Рис. 4.14. Структурна схема системи керування процесом
 ППР – підсистема прийняття рішень; БНМП – блок нейромережевого моделювання і прогнозування; БПР – блок прийняття рішень; БУ – блок управління; ЛСУ – локальна система управління; ЛАУП – локальний автоматичний управляючий пристрій; ВЕ – виконавчі елементи; ОУ – об'єкт управління

Блок нейромережевого моделювання і прогнозування (БНМП) використовується для створення прогнозів збурень. Його передавані значення збурень подаються до Базы Показників та Рішень (БПР). У БПР зберігаються різні можливі варіанти дій у керуванні та відповідні показники якості (Вб) для кожної дії. Ці показники враховують продуктивність виробництва, матеріальні та енергетичні витрати у фізичних одиницях [38].

БПР також приймає дані вартості вкладових прибутку (С) і на основі критерію оптимізації визначає оптимальну стратегію управління (Uр). Це означає, що система визначає, які конкретні дії керування слід вжити для досягнення найкращих результатів з точки зору прибутку, продуктивності та ресурсів [38].

Після визначення оптимальної стратегії управління (U_p), вона передається до Блоку Управління (БУ), який виконує зміну заданої дії у Локальному Апараті Управління та Планування (ЛАУП). Таким чином, ця система автоматизованого управління дозволяє приймати оптимальні рішення щодо керування виробничими процесами на основі аналізу даних та цілей оптимізації [38].

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 5 ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНА ЧАСТИНА

НУБІП України

5.1. Вибір електротехнічних пристроїв

5.1.1. Вибір насосу

Центробежні насоси з відкритим робочим колесом серії DWO від Ebara з гідравлічними компонентами, виготовленими з нержавіючої сталі AISI 304, використовуються для промислових процесів, пов'язаних з перекачуванням рідин, які містять підвішені тверді частинки. Наприклад, для миття овочів, м'яса, риби та інших продуктів. Вони також можуть використовуватися в промислових мийних машинах, які можуть містити тверді об'єкти, такі як пляшки, банки, склянки та упаковка. Їх можна також використовувати в фарбувальних апаратах та для перекачування забрудненої води загального призначення. Також доступна версія насоса з індексом захисту IP68 для занурення у воду [46].

Специфікація:

- Максимальний робочий тиск: 0,8 МПа.
- Максимальна температура рідини: 90°C.
- Максимальний розмір твердих частинок: 19 мм.
- Матеріали: Корпус насоса, кришка корпусу, робоче колесо і вал з нержавіючої сталі AISI 304.
- Кронштейн з чавуну.
- Механічне ущільнення з графіту/кераміки/NBR.
- На замовлення можливе встановлення спеціального механічного ущільнення.

Технічні дані:

- Асинхронний двополюсний електродвигун.
- Клас ізоляції F.
- Вбудований конденсатор та автоматичний захист від теплового перевантаження для однофазної мережі. Для трьохфазної мережі захист від теплового перевантаження повинен забезпечити споживач.

- DINA 2" 1/2" для DWO 300-400, DINA 2" для інших моделей, DNM 2" [46].

$P_{ед} = 3 \text{ кВт}; n_n = 3000 (2860) \text{ об/хв}; I_n = 6,34 \text{ А}; \cos\phi = 0,87$ (Рис. 5.1.).



Рис. 5.1. Насос EBARA DWO 400

На рисунку 5.2 можна побачити графік продуктивності насосу EBARA DWO 400.

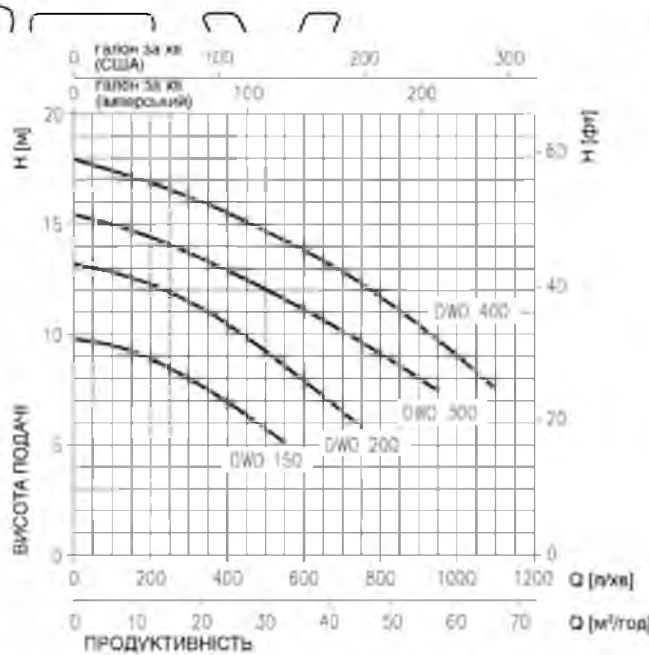


Рис. 5.2. Графік продуктивності насосу EBARA DWO 400

5.1.2. Вибір автоматичних вимикачів

Для вибору автоматичного вимикача QFI проводимо розрахунки суми струмів схеми керування, в результаті отримуємо:

$$\Sigma_{\text{ел}} = 12 \text{ A} \quad (5.1)$$

Обираємо автоматичний вимикач Siemens 3p C 16A, 6кА 5SL6316-7 (рис.5.3.) [43], з наступними технічними характеристиками $U_{\text{н.ав}}=400\text{В}$; $I_{\text{н.ав}}=16\text{А}$. $400\text{В} > 380\text{В}$; $16\text{А} > 12\text{А}$.



Рис. 5.3. Автоматичний вимикач Siemens 3p C 16A, 6кА 5SL6316-7

Вибір автоматичного вимикача виконують наступними умовами[37]:

- 1) За типом або серією.
- 2) За номіальною напругою:

$$U_{\text{н.ав}} \geq U_{\text{м}}, \quad (5.2)$$

де $U_{\text{н.ав}}$ – номіальна напруга вимикача, В;

$U_{\text{м}}$ – номіальна напруга електромережі, В.

3) За номінальним струмом:

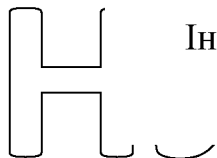


$$I_{н.ав} \geq I_{н.дв}, \quad (5.3)$$

де $I_{н.ав}$ – номінальний струм вимикача, А;

$I_{н.дв}$ - номінальний струм двигуна, А;

4) За номінальним струмом теплового розчіплювача:

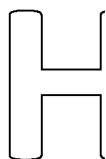


$$I_{нр} \geq 1,25 \cdot I_{н.дв}, \quad (5.4)$$

де $I_{нр}$ – номінальний струм теплового розчіплювача, А;

1,25 - коефіцієнт, враховуючий роздріб по струму спрацювання теплового розчіплювача;

5) За ступенем захисту від дотику персоналу з частинами, по яким



проходить струм, які знаходяться всередині корпусу, від потрапляння під корпус сторонніх твердих тіл і потрапляння в нього води, згідно ГОСТ 14254-69.

6) За кліматичним виконанням в категорією розміщення, згідно ГОСТ 11543-70 і ГОСТ 15150-69.

Для вибору автоматичного вимикача QF2 використовуємо наступні дані:

- $U_{н.м.} = 380\text{В}$
- $I_{н.} = I_{н.дв.} = 6.34\text{ А.}$
- $I_{н.р.} = 6.34 \cdot 1,25 = 7.925\text{ А.}$

Вибираємо Автоматичний вимикач Siemens 3р С 10А 6кА 400V 5SL6310-7 (рис.5.4.) [44] з наступними технічними характеристиками $U_{н.ав.} = 400\text{В}$; $I_{н.ав.} = 10\text{А}$;

$I_{н.р.} = 100\text{ А.}$

$400\text{В} > 380\text{В}$; $10\text{А} > 6.34\text{А}$; $100\text{А} > 7.925\text{А.}$

НУБІП України

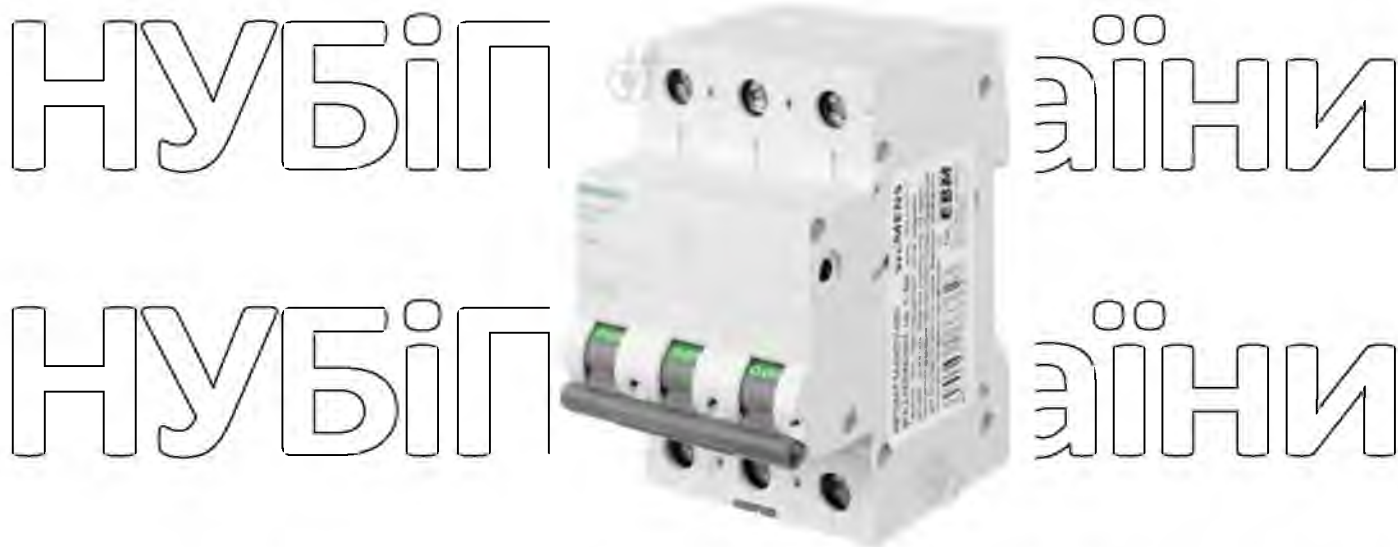


Рис. 5.4 Автоматичний вимикач Siemens 3р С 10А 6кА 400V 5SL6310-7.

Умови виконуються отже вимикач вибраній вірно.

Перевірка автоматичного вимикача QF2

Перевірку вибраного автоматичного вимикача виконують за наступними умовами:

- 1) За нормованою в ПУЕ кратності тривалого допустимого струму проводу та струмів розмикачів;
- 2) За чутливістю автоматичного вимикача до однофазного струму короткого замикання;
- 3) За найбільшою вимикаючою здібністю автоматичного вимикача;
- 4) За умовою не спрацювання при запуску електродвигуна.

В даній роботі здійснюємо перевірку лише на не спрацювання автоматичного вимикача при запуску електродвигуна.

$$I_{\text{відс.р.м.}} \geq I_{\text{п.розр.}} \quad (5.5)$$

де $I_{\text{п.розр.}}$ — розрахунковий пусковий струм, А, визначається за формулою:

$$I_{\text{п.розр.}} = 1,5 I_{\text{п.в.}} \quad (5.6)$$

де $I_{п.дв.}$ – пусковий струм електродвигуна, А, визначається за формулою:

$$I_{п.дв.} = K_i \cdot I_{н.дв.} \quad (5.7)$$

де K_i – кратність пускового струму;

$I_{н.дв.}$ – номінальний струм електродвигуна, А.

$$I_{п.дв.} = 6.34 \text{ А.} \quad (5.8)$$

$$I_{прозр} = 1.5 \cdot 6.34 = 9.51 \text{ А.} \quad (5.9)$$

$$100 \text{ А} > 9.51 \text{ А}$$

Умова виконується, отже вимикач забезпечує надійну роботу схеми.

Характеристики вимикача Siemens 3р С 10А 6кА 400V 5SL6310-7:

- 3Р – кількість полюсів автоматичного вимикача.
- С – Часо-струмова характеристика;
- IP20 - категорія захисту.

5.1.3. Вибір магнітних пускачів

Електромагнітні пускачі призначені для дистанційного пуску, зупинки та реверсу трифазних асинхронних двигунів, а також вони можуть використовуватись для автоматичного керування електродвигунами та іншим електрообладнанням. Вибір електромагнітного пускача виконують за наступними умовами:

- 1) За типом або серією.
- 2) За номінальною напругою:

$$U_{н.мп} \geq U_{м.} \quad (5.10)$$

де $U_{н.мп}$ – номінальна напруга магнітного пускача, В;

U_M - номінальна напруга електромережі, В;

3) За номінальним струмом:

$$I_{н.мп.} \geq I_n, \quad (5.11)$$

де $I_{н.мп.}$ - номінальний струм магнітного пускача, А;

I_n - номінальний струм навантаження, А.

4) За номінальною напругою котушки електромагнітного пускача:

$$U_{к.мп} \geq U_{кк}, \quad (5.12)$$

де $U_{к.мп}$ – номінальна напруга котушки магнітного пускача, В;

$U_{кк}$ – напруга кола керування, В;

5) За ступенем захисту.

6) За кліматичним виконанням і категорією розміщення.

Вихідні дані для вибору електромагнітного пускача КМ1:

$$\overline{U}_{н.с.м} = \overline{380В}; \overline{I}_n = \overline{6.34А}; \overline{U}_{н.м.у} = \overline{380В}.$$

Згідно розглянутих умов здійснюємо вибір пускача вибираємо електромагнітний пускач Siemens 3RT2017-1AR61 (рис.5.5.) із наступними технічними характеристиками: $U_{н.м.п} = 400В$; $I_{н.мп.} = 12А$; $U_{кк} = 660В$.

$$400 В > 380 В; 12 А > 6.34 А; 660 > 380 В.$$



Рис. 5.5 Електромагнітний пускач Siemens 3RT2017-1AR61

5.1.4. Вибір проводів керуючої мережі

Електропроводка – це сукупність проводів і кабелів з усіма належними до них кріпленнями та підтримуючими захисними конструкціями ззовні чи всередині елементів споруд чи будівель.

Внутрішні проводки повинні мати мінімальну протяжність. Переріз струмопровідної жили проводу або кабелю вибирають виходячи з умов гранично допустимого його нагрівання та достатньої механічної міцності.

Для сільськогосподарських приміщень рекомендовано такі способи виконання електропроводок:

- відкрита;
- схована,
- кабелем.

Під час визначення кількості проводів, які прокладають в одній трубі (або жил багатожильного провідника), нульовий робочий провід чотирипровідної системи трифазного струму (або заземлюючу жилу) не враховують.

Площу поперечного перерізу жил проводів, шнурів і кабелів вибирають за тривало допустимим струмом:

$$I_{тр.доп.} \geq I_{роз} \quad (5.13)$$

де $I_{роз}$ - розрахунковий струм ділянки електричної мережі, А.

Для відгалужень до окремих електроспоживачів за максимальні тривалі робочі струми беруть їх номінальні струми, які визначаються за формулами:

- 1) Для однофазних споживачів:

$$I_{ном} = \frac{10^3 \cdot P_{ном}}{U_{ном} \cdot \cos \varphi_{ном}} \quad (5.14)$$

- 2) Для трифазних споживачів:

НУБІП УКРАЇНИ

$$I_{ном} = \frac{10^3 \cdot P_{ном}}{\sqrt{3} U_{ном} \cdot \cos \phi_{ном}} \quad (5.15)$$

3) Для трифазних асинхронних електродвигунів з короткозамкненим ротором:

НУБІП УКРАЇНИ

$$I_{ном} = \frac{10^3 \cdot P_{ном}}{\sqrt{3} U_{ном} \cdot \eta_{ном} \cdot \cos \phi_{ном}} \quad (5.16)$$

Розрахунковий струм магістралей, від яких живиться кілька споживачів, визначають за формулою:

НУБІП УКРАЇНИ

$$I_{м.роз.} = K_o \cdot \sum I_{ном(роз.)} \quad (5.17)$$

де K_o - коефіцієнт одночасної роботи споживачів енергії,

НУБІП УКРАЇНИ

$\sum I_{ном(роз.)}$ - сума номінальних (розрахункових) сил струму, А.

Вихідні дані для вибору кабеля для живлення двигуна М1:

Насос EBARA DWO 400 має двигун з наступними технічними

характеристиками:

НУБІП УКРАЇНИ

$P_{ед} = 3 \text{ кВт}$; $n_n = 3000(2860) \text{ об/хв}$; $I_n = 6.34 \text{ А}$; $U_n = 380 \text{ В}$; $\eta_{н.дв} = 82.6\%$;
 $\cos \phi_{н.дв} = 0.87$; $K_i = 4$

Розраховуємо струм двигуна згідно із умовою:

НУБІП УКРАЇНИ

$$I_{ном} = \frac{10^3 \cdot 3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 82.6\% \cdot 0.87} = 6.34 \text{ А} \quad (4.18)$$

Обираємо чотирьохжильний кабель з площею поперечного перерізу струмоведучих жил $1,5 \text{ мм}^2$ марки ВВГ (рис.5.6.).

НУБІП УКРАЇНИ

НУБІП України

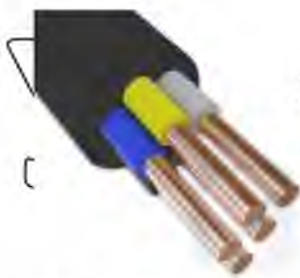


Рис. 5.6 Кабель ВВГнг 5х1,5.

НУБІП України

Так як номінальний струм живлення датчика складає 0,19 А, було обрано трьохжильний кабель з площею поперечного перерізу струмоведучих жил 0,5 мм² марки ШВВП (рис.5.7.).

НУБІП України



НУБІП України

Рис. 5.7. Кабель ШВВП 3х0,5.

НУБІП України

Вихідні дані для вибору кабеля для живлення установки

$$I_{ном} = 6.34 \text{ А.} \quad (4.19)$$

НУБІП України

$$I_{ном2} = 0,2 * 7 = 1.4 \text{ А.} \quad (4.20)$$

Згідно із формулою (5.17):

НУБІП України

$$I_{м.роз.} = 6.34 + 1.4 \text{ А} = 7.74 \text{ А.} \quad (4.21)$$

Згідно з цим, обираємо чотирьохжильний кабель з площею поперечного перерізу струмоведучих жил 1.5 мм² марки ВВГ (рис.5.8.).

НУБІП України



Рис. 5.8. Кабель ВВГнг-4х1,5

НУБІП України

Для схеми керування вибираємо провідник ПВЗ 1м з номінальним струмом 16А (Рис.5.9).

НУБІП України



Рис. 5.9. Кабель ПВЗ 1м

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 6. РОЗРАХУНОК ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВІПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ

З метою обґрунтування економічної ефективності впровадження системи автоматичного керування очисткою стічних вод на птахофабриці проведемо розрахунок зведених витрат за виразом:

$$B_{зв} = C + E_n \cdot K, \quad (6.1)$$

де $B_{зв}$ – зведені витрати, грн./рік; C – річні експлуатаційні витрати, грн./рік; K – капітальні витрати, грн.; E_n – нормальний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень, рік⁻¹ ($E_n = 0,15$).

До складу експлуатаційних витрат входять:

- витрати на оплату праці персоналу (C_3);
- відрахування на амортизацію (C_a);
- витрати на поточний ремонт ($C_{пр}$);
- оплата енергоресурсів (C_e);
- інші прямі витрати (C_d).

Витрати на оплату праці персоналу визначаються відповідно до посадових окладів згідно тарифного розряду працівника. Прийmemo ці витрати в розмірі $C_3 = 120$ грн/год.

На поточний ремонт для обладнання, що використовується протягом всього року ці витрати приймаемо 18 % від балансової вартості ($C_{пр} = 0,18 K$).

Вартість енергоресурсів визначаемо, виходячи із кількості спожитої електроенергії та поточних тарифів для виробничих цілей (на 2023 рік 5.4 грн./кВт·год.).

$$C_e = P \cdot T_{річн.} \cdot 5.4 \text{ грн.} \quad (6.2)$$

Інші прямі витрати приймають рівними 1 % від загальної суми експлуатаційних витрат. Таким чином:

$$C = C_3 + C_a + C_{\text{тр}} + C_e + C_d \quad (6.3)$$

Також при розрахунку капітальних вкладень необхідно врахувати:

- придбання необхідних технічних засобів автоматизації (K_3);
- торгівельно-транспортні витрати ($K_{\text{тт}}$);
- монтаж ТЗА (K_m);

проведення електричної проводки ($K_{\text{пр}}$);

- інші витрати (K_i).

Вартість технічних засобів автоматизації вибираємо відповідно до цін виробників обраного обладнання. Торгівельно-транспортні витрати були прийняті в середньому на рівні 11 % вартості ТЗА.

Витрати на монтаж визначено за рівнем відповідних робіт та поточними цінами на такі роботи. На сьогоднішній день ці витрати становлять приблизно 15-20 % вартості ТЗА, які мають бути змонтованими.

Витрати, що залишились становлять приблизно 2,5 % від усіх капітальних вкладень.

$$K = K_3 + K_{\text{тт}} + K_m + K_{\text{пр}} + K_i \quad (6.4)$$

Відповідно до вибраних технічних засобів автоматизації та їх цін у каталогах виробників розраховуємо:

$$K_3 = 15000 \cdot 2 + 34000 \cdot 2 + 14500 + 47500 + 10400 \cdot 2 + 2800 \cdot 2 + 600 \cdot 2 + 1200 \cdot 2 + 750 \cdot 2 + 37200 \cdot 2 = 265900 \text{ грн.}$$

Тоді торгівельно-транспортні витрати будуть становити:

$$K_{\text{тт}} = 0,11 \cdot K_3 = 0,11 \cdot 265900 = 29249 \text{ грн.} \quad (6.5)$$

Монтажні роботи для ТЗА:

НУБІП України
 $K_M = 0,17 \cdot K_3 = 0,17 \cdot 265900 = 45203$ грн. (6.6)

Електропроводка:

НУБІП України
 $K_{пр} = 300 \cdot 35 = 10500$ грн. (6.7)

Інші капітальні витрати:

НУБІП України
 $K_i = 20000$ грн. (6.8)

Сума капітальних вкладень становить:

НУБІП України
 $K = 265900 + 29249 + 45203 + 10500 + 20000 = 370852$ грн. (6.9)

Відрахування на амортизацію:

НУБІП України
 $C_a = 0,142 \cdot K = 0,142 \cdot 370852 = 52661$ грн. (6.10)

Поточний ремонт:

НУБІП України
 $C_{пр} = 0,18 \cdot K = 0,18 \cdot 370852 = 66753$ грн. (6.11)

Вартість енергоресурсів:

НУБІП України
 $C_e = P \cdot \Gamma \cdot 5,4$ (6.12)

Обладнання на очисних спорудах працює 8184 годин на рік.

Таким чином:

$$C_e = 11,1 \cdot 8184,5,4 = 490548 \text{ грн.} \quad (6.13)$$

Оплата праці персоналу:

$$C_3 = 12 \cdot 24840 = 298080 \text{ грн.} \quad (6.14)$$

Річні експлуатаційні витрати:

$$C = 52661 + 66753 + 490548 + 298080 = 908042 \text{ грн.} \quad (6.15)$$

Розраховуємо зведені витрати:

$$B_{зв} = C + E_n \cdot K$$

E_n - нормальний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень, рік⁻¹
($E_n = 0,15$).

$$B_{зв} = 908042 + 0,15 \cdot 370852 = 963670 \text{ грн.} \quad (6.16)$$

Чистий прибуток:

$$r = \Delta C_3 + \Delta C_e, \quad (6.17)$$

де ΔC_3 - прибуток за рахунок економії заробітної плати, ΔC_e - прибуток за рахунок економії електроенергії.

Тоді:

$$r = 298080 + 50000 = 348083 \text{ грн.} \quad (6.18)$$

Термін окупності запропонованого підходу визначають за формулою:

$$T_{ок} = \frac{K}{r} = \frac{370852}{348083} \approx 1,06 \text{ рік} \quad (6.19)$$

ВИСНОВКИ

У даному дипломному проєкті було докладно розглянуто процес очищення стічних вод і зосереджено увагу на автоматизації цього процесу. Спочатку був проведений аналіз аеротенку як об'єкта автоматизації. Була розроблена функціональна схема автоматизації очисної споруди, а також було досліджено математичну модель цього об'єкта регулювання. Далі, був обраний і реалізований алгоритм керування системою для подачі забрудненої води та відкачки очищеної води. Для цього були розроблені функціонально-структурна та структурно-алгоритмічна схеми.

Система автоматичного керування була розроблена на основі перетворювача частоти SIEMENS SINAMICS V20 потужністю 3 кВт і напругою 230 В, оснащеного EMC-фільтром C2 та програмованого логічного контролера.

Був проведений аналіз перехідного процесу та визначені показники якості. Завдяки цій системі, було забезпечено вимоги щодо встановлених показників якості та ефективного управління устаткуванням.

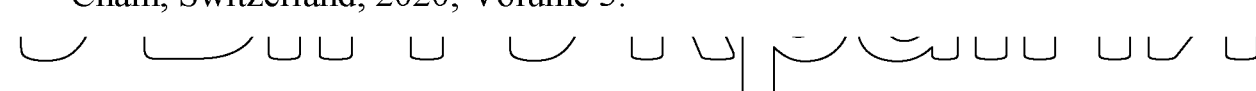
Проведено синтез нейроінформаційної системи, досліджено три типи функцій належності та здійснено обґрунтування інтелектуальної експертної системи.

Проведене техніко-економічне обґрунтування системи автоматизації свідчить про ефективність та вигідність впровадження автоматизації в даній галузі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Айрапетян Т. С. Конспект лекцій з дисциплін «Очистка побутових стічних вод» та «Споруди та обладнання водовідведення» (Модуль 2. Очищення стічних вод) (для студентів 4 курсу денної і 5 курсу заочної форм навчання напрямів підготовки 6.060101 «Будівництво» (спеціальність «Водопостачання та водовідведення») та 6.060103 «Гідротехніка (Водні ресурси)») Т. С. Айрапетян, Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Х.: ХНУМГ, 2014. – 121 с.
2. Bao, Y.; Li, F.; Chen, L.; Mu, Q.; Huang, B.; Wen, D. Fate of antibiotics in engineered wastewater systems and receiving water environment: A case study on the coast of Hangzhou Bay, China. *Sci. Total Environ.* **2021**, 769, 144642.
3. Gnida, A.; Felis, E.; Ziemińska-Buczyńska, A.; Łuczkiwicz, A.; Surmacz-Górska, J.; Olańczuk-Neyman, K. Evidence of mutations conferring resistance to clarithromycin in wastewater and activated sludge. *3 Biotech* **2020**, 10, 1–11.
4. Vasenko, O.; Zinchenko, I.; Tsytlshvili, K.; Bikasov, V. Research methods of inactivation of the antibiotic ciprofloxacin to prevent environmental pollution and protect human health. *Sci. Horiz.* **2020**, 7, 19–25.
5. Pavolová, H.; Lacko, R.; Hajduová, Z.; Šimková, Z.; Rovňák, M. The Circular Model in Disposal with Municipal Waste. A Case Study of Slovakia. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2020**, 17, 1839.
6. Corada-Fernandez, C.; Jimenez-Martinez, J.; Candela, L.; Mazo, E.G. Presence of synthetic surfactants in groundwater derived by sewage contamination. *Eur. Geosci. Union Gen. Assem.* **2011**, 13, EGU2011–EGU4966.
7. Balymova, E.S.; Zakirov, R.K.; Gaynetdinova, R.R.; Akhmadullina, F.Y. Biadiagnostics of activated sludge as a method for rapid control of wastewater biological treatment. *Bezop. V Tekhnosfere* **2012**, 4, 11–17.
8. Shtepa, V.M.; Goncharov, F.I.; Syrovotka, M.A. Обґрунтування та розробка критерію енергоефективності функціонування електротехнологічних систем водопідготовки [Rationale and development of energy efficiency

- criteria for operation of electrical process water treatment systems]. *Sci. Her. NULES Ukraine. Ser. Mach. Energ.* **2011**, *161*, 187–193.
9. Shtepa, V.M. Обґрунтування робочої міри ефективності електротехнологічної водоочистки [Rationale for a working measure of the efficiency of electro-technological water treatment]. *Energy Autom.* **2018**, *4*, 99–111. [
10. Topalić Marković, J.; Mučenski, V.; Savić, D.; Velkovski, T.; Peško, I.; Tomaš, L. Risk assessment model for planning and design processes of wastewater treatment plants. *Period. Polytech. Civ. Eng.* **2021**, *65*, 181–190.
11. Ownby, M.; Desrosiers, D.-A.; Vaneeckhaute, C. Phosphorus removal and recovery from wastewater via hybrid ion exchange nanotechnology: A study on sustainable regeneration chemistries. *NPJ Clean Water* **2021**, *4*, 1–8.
12. Jiang, X.; Wang, H.; Wu, P.; Wang, H.; Deng, L.; Wang, W. Nitrification performance evaluation of activated sludge under high potassium ion stress during high-ammonia nitrogen organic wastewater treatment. *J. Environ. Sci.* **2022**, *111*, 84–92.
13. Zhang, J.; Shao, Y.; Liu, G.; Qi, L.; Wang, H.; Xu, X.; Liu, S. Wastewater COD characterization: RBCOD and SBCOD characterization analysis methods. *Sci. Rep.* **2021**, *11*, 1–10.
14. Qiu, G.; Chen, H.; Raghavan, D.S.S.; Ting, Y.P. Removal behaviors of antibiotics in a hybrid microfiltration-forward osmotic membrane bioreactor for real municipal wastewater treatment. *Chem. Eng. J.* **2021**, *417*, 129146.
15. Shi, Y.-J.; Yang, L.; Liao, S.-F.; Zhang, L.-G.; Liao, Z.-C.; Lan, M.-Y.; Sun, F.; Ying, G.-G. Responses of aerobic granular sludge to fluoroquinolones: Microbial community variations, and antibiotic resistance genes. *J. Hazard. Mater.* **2021**, *414*, 125527.
16. Zhu, T.T.; Su, Z.X.; Lai, W.X.; Zhang, Y.B.; Liu, Y.W. Insights into the fate and removal of antibiotics and antibiotic resistance genes using biological wastewater treatment technology (Review). *Sci. Total Environ.* **2021**, *776*, 145906.

- H 17. Siedlecka, A.; Wolf-Baca, M.; Piekarska, K. Microbial communities of biofilms developed in a chlorinated drinking water distribution system: A field study of antibiotic resistance and biodiversity. *Sci. Total Environ.* **2021**, *774*, 145113.
- H 18. Shi, L.; Hu, Z.; Wang, Y.; Bei, E.; Lens, P.N.; Thomas, O.; Hu, Y.; Chen, C.; Zhan, X. In Situ electrochemical oxidation in electro dialysis for antibiotics removal during nutrient recovery from pig manure digestate. *Chem. Eng. J.* **2021**, *413*, 127485.
- H 19. Kruszelnicka, I.; Ginter-Kramarczyk, D.; Wyrwas, B.; Idkowiak, J. Evaluation of surfactant removal efficiency in selected domestic wastewater treatment plants in Poland. *J. Env. Health Sci. Eng.* **2019**, *17*, 1257–1264.
- H 20. Dereszewska, A.; Cytawa, S.; Tomczak-Wandzel, R.; Medrzycka, K. The Effect of Anionic Surfactant Concentration on Activated Sludge Condition and Phosphate Release in Biological Treatment Plant. *Pol. J. Environ. Stud.* **2015**, *24*, 83–91.
- H 21. Stasinakis, A.S. Use of selected advanced oxidation processes (AOPs) for wastewater treatment—a mini review. *Glob. NEST J.* **2008**, *10*, 376–385.
- H 22. Costa, E.P.; Roccamante, M.; Amorim, C.C.; Oller, I.; Pérez, J.A.S.; Malato, S. New trend on open solar photoreactors to treat micropollutants by photo-Fenton at circumneutral pH: Increasing optical pathway. *Chem. Eng. J.* **2020**, *385*, 123982.
- H 23. Malvestiti, J.A.; Dantas, R.F. Influence of industrial contamination in municipal secondary effluent disinfection by UV/H₂O₂. *Environ. Sci. Pollut. Res.* **2019**, *26*, 13286–13298.
- H 24. Homonnay, Z. Characterization of FeVI and Other Oxidation States of Iron by Spectroscopic Methods. In Proceedings of the International Symposium, Prague, Czech Republic, 31 May 2020; pp. 55–63.
- H 25. Ali, Z.; Ahmad, R. Nanotechnology for Water Treatment. In *Environmental Nanotechnology*; Dasgupta, N., Ranjan, S., Lichtfouse, E., Eds.; Springer: Cham, Switzerland, 2020; Volume 3.
- 

- Н 26. Muszynski, A.; Marcinowski, P.; Maksymiec, J.; Beskowska, K.; Kalwarczyk, E.; Bogacki, J. Cosmetic wastewater treatment with combined light/Fe⁰/H₂O₂ process coupled with activated sludge. *J. Hazard. Mater.* **2019**, *378*, 120732.
- Н 27. Wiest, L.; Gosset, A.; Fildier, A.; Libert, C.; Hervé, M.; Sibeud, E.; Giroud, B.; Vulliet, E.; Bastide, T.; Polomé, P.; et al. Occurrence and removal of emerging pollutants in urban sewage treatment plants using LC-QToF-MS suspect screening and quantification. *Sci. Total Environ.* **2021**, *774*, 145779
- Н 28. Chernysh, Y.; Balintova, M.; Plyatsuk, L.; Holub, M.; Demcak, S. The influence of phosphogypsum addition on phosphorus release in biochemical treatment of sewage sludge. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2018**, *15*, 1269.
- Н 29. Plyatsuk, L.; Balintova, M.; Chernysh, Y.; Demcak, S.; Holub, M.; Yakhnenko, E. Influence of Phosphogypsum Dump on the Soil Ecosystem in the Sumy region (Ukraine). *Appl. Sci.* **2019**, *9*, 5559.
- Н 30. Kim, Y.; Farnazo, D.M. Toxicity characteristics of sewage treatment effluents and potential contribution of micropollutant residuals. *J. Ecol. Env.* **2017**, *41*, 39
- Н 31. Мазоренко Д.І., Цапко В.Г., Гончаров Ф.І. та інші Інженерна екологія сільськогосподарського виробництва. – К.: Знання, 2006 – 376 с.
- Н 32. Гончаров Ф.І. Методологія підвищення екологічної безпеки об'єктів агропромислової та харчової індустрій / Ф.І. Гончаров, В.М. Штепа // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України : зб. наук. пр. / Укр. н.-д. ін-т прогноз. та випробув. техн. і технол. для с.-г. вир-ва ім. Леоніда Погорілого; ред. колегія.: В.І. Кравчук (голов. ред.) [та ін.]. – Дослідницьке (Київ. обл.): [б. в.]. – 2012. – Вип. 16 (30), кн. 2. – С. 97-104.
- Н 33. Штепа В. М. Оцінка енергетичних характеристик процесів очищення стічних вод агропромислових підприємств електротехнічними комплексами / В. М. Штепа // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – К.: НУБіП України. – 2014. – Вип. 194. – Частина 3. – С. 259 – 265.

Н 34. Штепа В. М. Обґрунтування алгоритму експериментально-аналітичних досліджень режимів електротехнічної очистки стічних вод агропромислових об'єктів з метою побудови енергоефективних систем управління / В. М. Штепа // Енергетика і автоматика, 2012-01 (11), http://nbuv.gov.ua/j-pdf/eia_2014_2_10.pdf ISSN 1813 - 6796 ВІСНИК

Н КНУТД №2 (108), 2017.

Н 35. Штепа В.М. Обґрунтування та розробка критерію енергоефективності функціонування електротехнологічних систем водопідготовки / В.М. Штепа, Ф.І. Гончаров, М.А. Сироватка // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК: збірник наукових праць. – Київ: НУБіПУ, 2011. – Вип. 161. – С. 187–193.

Н 36. Лисенко В.П., Решетюк В.М., Мірошник В.О. ТИПОВІ ТЕХНОЛОГІЧНІ ОБ'ЄКТИ І ПРОЦЕСИ (навчальний посібник) для студентів спеціальності: 8.092501 – «Автоматизоване управління технологічними процесами». Посібник. – К.: 2013 – 170 с.

Н 37. Мартиненко І.І., Лисенко В.П., Тищенко Л.П., Болбот І.М., Олійник П.В. Проектування систем електрифікації та автоматизації АПК. Підручник. – К., 2008. – 360 с.

Н 38. Інтелектуальні системи керування біотехнічними об'єктами / В. Лисенко, Н. Заєць, М. Гачковська, О. Савчук. – К.: КомПрінт, 2019. – 549 с.

Н 39. Лисенко В.П., Решетюк В.М., Штепа В.М., Заєць Н.А. та ін. Системи штучного інтелекту: нечітка логіка, нейронні мережі, нечіткі нейронні мережі, генетичний алгоритм. – К.: НУБіП України, 2014. – 336с.

Н 40. <https://arista.in.ua/p827822947-datchik-elektroprovodnosti-vody.html>

Н 41. [Product Details - Industry Mall - Siemens WW](#)

Н 42. [6SL3210-5BE23-0UV0 Перетворювач частоти Siemens SINAMICS V20 380-480 V, 3.0 кВт | ElectroControl.com.ua](#)

Н 43. [SPARK](#)

44. Автомат захисту SIEMENS 400V, 10A, 5SL6310-7 придбати в КАПРО-КИЇВ • ціни, опис (kargo-kyiv.com.ua)

45. Siemens SCALANCE XC206-2 промисловий керований IE комутатор, 6GK5206-2BD00-2AC2: продаж, ціна у Запоріжжі. Програмовані контролери від "Магазин електротехніки, автоматики та кліматичної техніки "Електротехніка"" - 1633846438 (electrotechnics.com.ua)

46. Насос EBARA DWO - промислові насоси з відкритим колесом. Купити EBARA DWO в Україні (watton.ua)

47. 6ES7217-1AG40-0XB0 SIMATIC S7-1200, CPU 1217C, DC/DC/DC, 14DI/10DO/2AI/2AQ, транзистори, 24VDC (meanwell.kiev.ua)

48. 6AV2123-2DB03-0AX0 Siemens SIMATIC HMI, панель оператора KTP700 BASIC DP, 4" TFT (meanwell.kiev.ua)

49. 7MC7111-6EC31 SIEMENS SITRANS TS100 Temperature sensor wit.. (electricautomationnetwork.com)

50. Заключний звіт з НДР № 110/47-ф

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП УКРАЇНИ

Вибірки для навчання нейромережі

t води, °C	мкСМ/см поправ.	I, A
17	54,90	4,16
17	34,45	1,70
18	64,89	6,01
18	85,53	10,45
17	83,97	10,07
17	94,66	12,80
16	16,33	0,38
17	55,32	4,37
17	81,90	9,58
17	38,27	2,99
17	46,20	3,05
18	26,19	0,98
18	23,06	0,76
18	40,45	2,34
17	44,53	2,83
16	17,64	0,44
16	48,64	3,38
15	51,92	3,85
14	62,70	5,62
14	52,69	3,97
14	53,46	4,08
14	52,60	3,95
14	86,85	10,78
13	58,29	4,85

12	56,28	4,52
11	49,74	3,53
11	99,44	14,13
11	77,31	8,54
11	107,51	16,51
12	46,90	3,14
12	93,23	12,42
11	27,75	1,10
10	70,78	7,16
10	78,04	8,70
9	98,38	13,83
9	58,31	4,86
9	49,52	3,50
9	73,50	7,72
9	52,37	3,92
10	75,15	8,07
10	31,12	1,38
10	43,06	2,65
10	29,57	1,25
10	52,74	3,97
11	59,35	5,03
12	60,56	5,24
12	55,55	4,10
10	103,89	15,42
9	25,15	0,90
9	45,27	2,93
10	8,45	0,10
10	88,95	11,30
9	34,40	1,69

7	46,93	3,15
5	75,15	8,07
4	69,33	6,87
3	77,49	8,58
3	71,91	7,39
3	32,56	1,51
3	37,69	2,03
3	73,88	7,80
3	66,45	6,31
3	41,20	2,43
3	55,18	4,35
3	62,63	5,60
4	71,16	7,23
4	62,77	5,63
4	41,78	2,49
5	97,70	13,64
6	69,74	6,95
6	61,44	5,39
6	76,60	8,38
6	77,24	8,52
6	47,27	3,19
5	41,54	2,46
5	82,22	9,66
5	35,98	1,85
4	28,82	1,19
4	74,23	7,87
3	72,77	7,56
3	104,11	13,49
3	88,88	11,28

3	86,08	10,58
3	62,26	5,54
3	60,04	5,15
3	69,07	6,82
3	59,49	5,06
3	38,91	2,16
3	24,50	0,86
3	76,57	8,37
3	68,88	6,78
3	72,36	7,48
3	64,27	5,90
3	39,46	2,22
3	84,76	10,26
3	53,78	4,13
3	43,20	2,67
3	43,58	2,71
3	51,42	3,78
3	50,93	3,71
3	49,52	3,50
3	76,99	8,47
3	70,26	7,05
3	47,83	3,27
3	86,70	10,59
3	24,78	0,88
3	71,04	7,20
3	57,67	4,75
3	60,83	5,29
3	46,92	3,14
3	49,01	3,43

3	76,99	8,47
3	76,06	8,26
4	69,13	6,83
4	73,83	7,79
4	92,61	12,25
4	66,08	6,24
3	71,78	7,36
3	97,06	13,46
3	53,29	4,06
3	80,77	9,32
3	62,87	5,65

Н

Н

Н

Н

НУБІП України

Скетч програми для синтезу нейромережі

>> anfisedit

ANFIS info:

Number of nodes: 51

Number of linear parameters: 15

Number of nonlinear parameters: 24

Total number of parameters: 39

Number of training data pairs: 122

Number of checking data pairs: 0

Number of fuzzy rules: 15

НУБІП України

НУБІП України

Start training ANFIS ..

1 0.0556472

2 0.0554757

НУБІП України

Designated epoch number reached => ANFIS training completed at epoch 2.

Minimal training RMSE = 0.055476

НУБІП України

ANFIS info:

Number of nodes: 51

Number of linear parameters: 15

Number of nonlinear parameters: 24

Total number of parameters: 39

НУБІП України

Number of training data pairs: 122
 Number of checking data pairs: 0
 Number of fuzzy rules: 15

Start training ANFIS ...
 1 0.0554757
 2 0.0553017

Designated epoch number reached --> ANFIS training completed at epoch 2.

Minimal training RMSE = 0.055302

ANFIS info:
 Number of nodes: 51

Number of linear parameters: 15

Number of nonlinear parameters: 24
 Total number of parameters: 39
 Number of training data pairs: 122

Number of checking data pairs: 0

Number of fuzzy rules: 15

Start training ANFIS ...

1 0.0553017
 2 0.0551311

Designated epoch number reached --> ANFIS training completed at epoch 2.

НУБІП України

Minimal training RMSE = 0.055131

ANFIS info:

НУБІП України

Number of nodes: 51

Number of linear parameters: 15

Number of nonlinear parameters: 24

Total number of parameters: 39

НУБІП України

Number of training data pairs: 122

Number of checking data pairs: 0

Number of fuzzy rules: 15

НУБІП України

Start training ANFIS ...

1	0.0551311
2	0.0549603

НУБІП України

Designated epoch number reached --> ANFIS training completed at epoch 2.

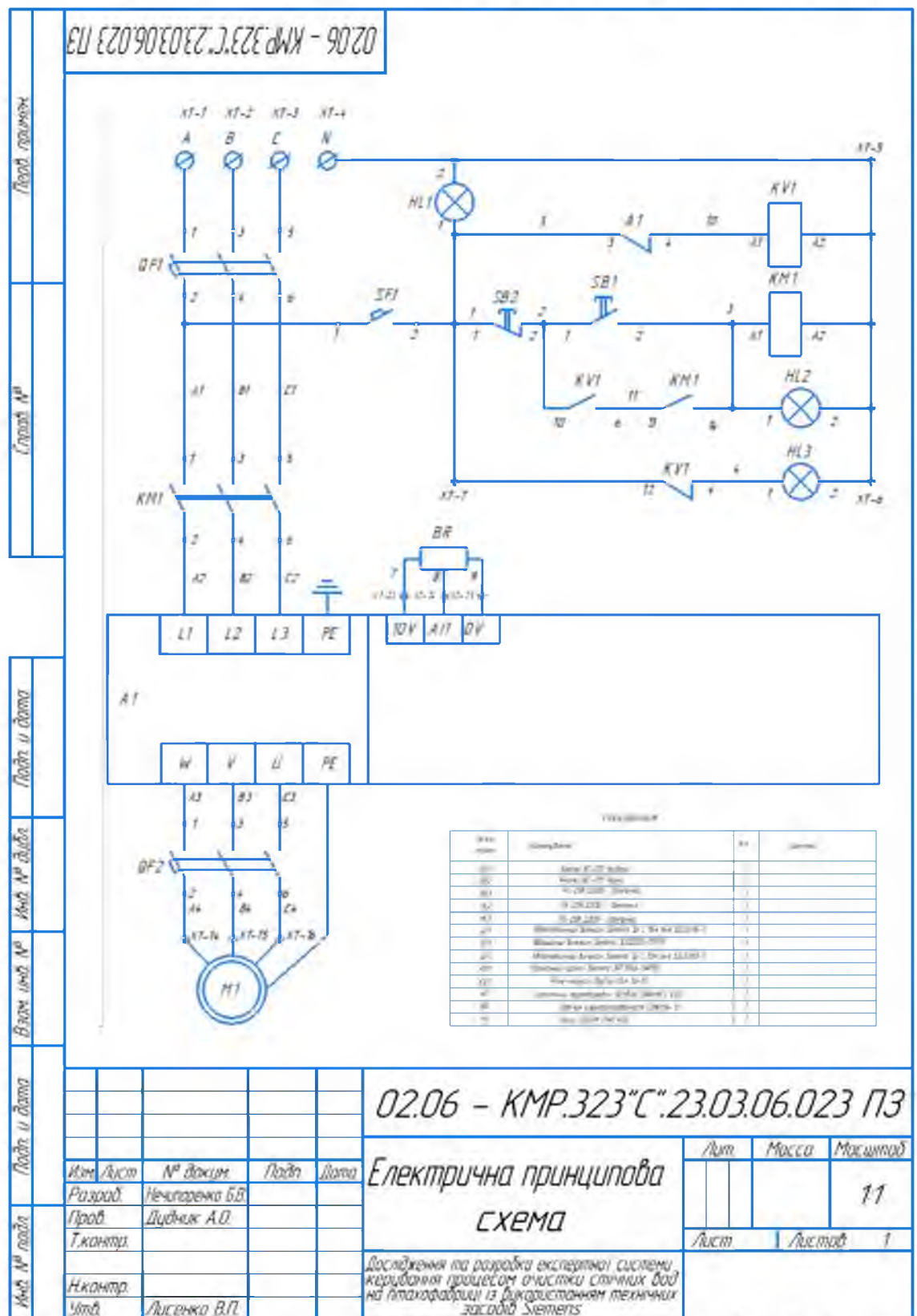
Minimal training RMSE = 0.054960

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП УКРАЇНИ

Електрична принципова схема



02.06 - КМР.323"С".23.03.06.023 ПЗ

Електрична принципова
схема

Лист	Масса	Масштаб
		1:1
Лист	Листов	1

Дослідження та розробка експертної системи керування процесом очищення стічних вод на гітакофарації із використанням технічних засадів Siemens

Копіюваль

Формат А4

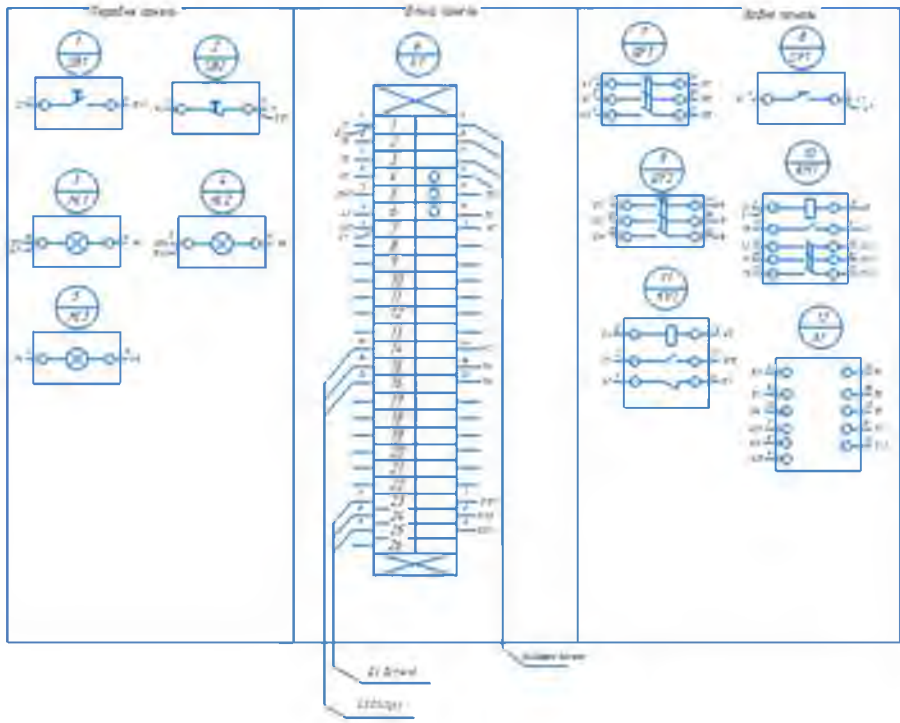
Листів: 1
Склад №:
Листів і дата:
Маб. № докум:
Взам. штаб №:
Листів і дата:
Маб. № листа:

Имя	Лист	№ докум.	Лист	Дата
Разработ		Нещепаренко Б.В.		
Пров		Диденко А.О.		
Т.контр.				
И.контр.				
Имя		Лисенко В.П.		



Справ. №
 Подп. и дата
 Инв. № дубл.
 Взам. инв. №
 Подп. и дата
 Инв. № подл.

02.06 - КМР.323"С".23.03.06.023 ПЗ



№	Наименование	Кол-во	Примечание
1	Кабель ВВГнг-LS 3*16+1*10	1	
2	Кабель ВВГнг-LS 3*10+1*6	1	
3	Кабель ВВГнг-LS 3*6+1*4	1	
4	Кабель ВВГнг-LS 3*4+1*2.5	1	
5	Кабель ВВГнг-LS 3*2.5+1*1.5	1	
6	Кабель ВВГнг-LS 3*1.5+1*0.75	1	
7	Кабель ВВГнг-LS 3*0.75+1*0.35	1	
8	Кабель ВВГнг-LS 3*0.35+1*0.18	1	
9	Кабель ВВГнг-LS 3*0.18+1*0.09	1	
10	Кабель ВВГнг-LS 3*0.09+1*0.045	1	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Нечиларенко Б.В.		
Проб.		Дудник А.О.		
Т.контр.				
Н.контр.				
Утв.		Лисенко В.П.		

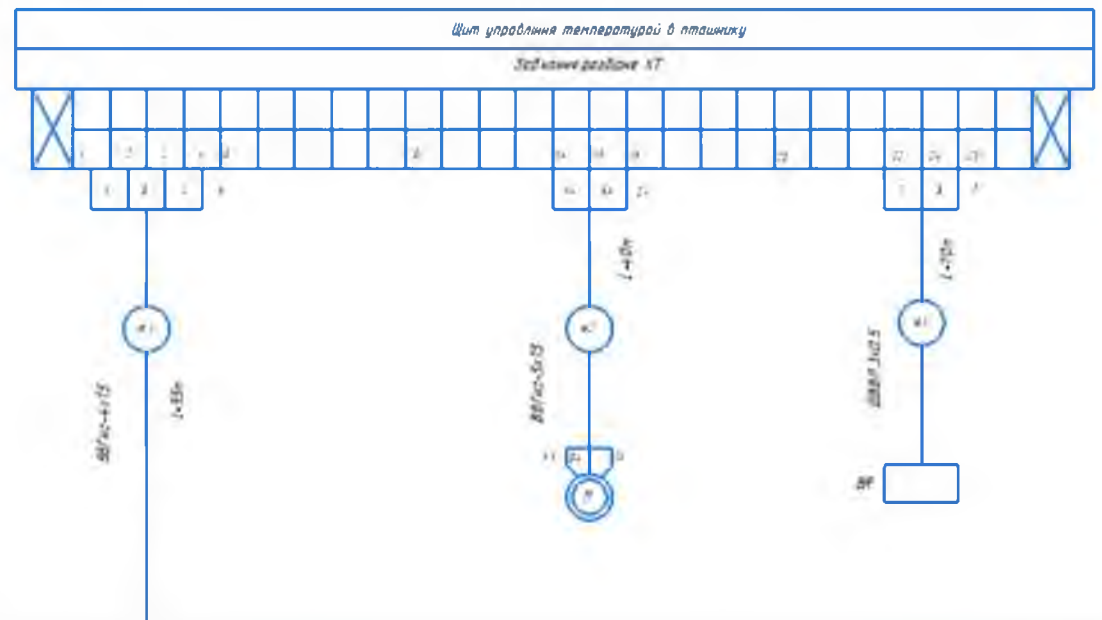
02.06 - КМР.323"С".23.03.06.023 ПЗ

Лист	Масса	Масштаб
		1:1
Лист	Листов	1

Схема електрична зє'днань

Дослідження та розробка експертної системи керування процесом ачистки стічних вод на птахофабриці із використанням технічних засобів Siemens

02.06 - КМР.323"С".23.03.06.023 ПЗ



Назва обладнання	Щит живлення	Електродвигун	Датчик електропровідності
Тип	380 В	ЕВАРА DYN 400	CON1134-13

02.06 – КМР.323"С".23.03.06.023 ПЗ

Изм.	Лист	№ доцм.	Подп.	Дата
Разраб.		Нечипаренко Б.В.		
Пров.		Дудник А.О.		
Т.контр.				
Н.контр.				
Утв.		Лисенко В.П.		

Схема підключень

Лист	Масса	Масштаб
		1:1
Лист	Листов	1

Дослідження та розробка експертної системи керування процесом очистки стічних вод на Птахофабриці із використанням технічних засобів Siemens

Копіровал

Формат А4

Спроб. №

Підп. і дата

Інв. № діал

Взам. інв. №

Підп. і дата

Інв. № подл.



Справ. №

Підп. і дата

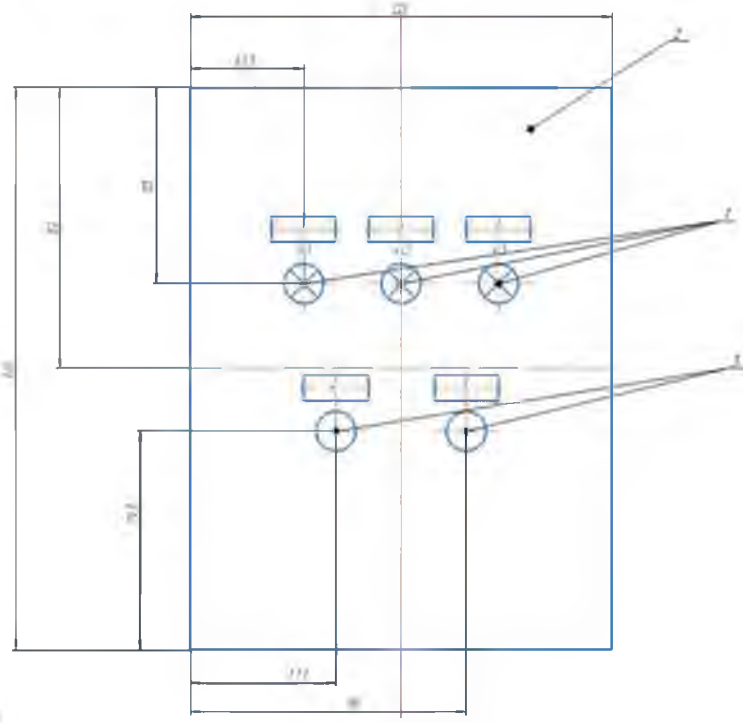
Інд. № дубл.

Взам. инв. №

Підп. і дата

Інд. № подл.

02.06 - КМР.323"С".23.03.06.023 ПЗ



Номер надп.	Напис	Кільк.
1	Житлення	
2	Запуск насоса	
3	Аварія	
4	Пуск	
5	Стоп	

№	Наменування	Примтка
1	Сигнальні лампи НЛ1-НЛ3	
2	Щит керування	
3	Кнопки SB1 SB2	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Нечипаренко Б.В.		
Пров.		Дядник А.О.		
Т.контр.				
Н.контр.				
Утв.		Лисенко В.П.		

02.06 – КМР.323"С".23.03.06.023 ПЗ

Зовнішній вид щита керування

Лист	Масса	Масштаб
		1:1
Лист		Листов 1

Дослідження та розробка експертної системи керування процесом очистки стічних вод на птахофабриці із використанням технічних засадів Siemens

Копіював

Формат А4