

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

(повне найменування вищого навчального закладу)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та робототехніки

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

магістр

(ступінь вищої освіти)

на тему **Дослідження та удосконалення системи електроприводу**

насосів водообігу на цукровому заводі

Виконав: студент 6 курсу, групи 601МЕ
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Торбенко А.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник Кожушко Г.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Єрмілова Н.В.

(прізвище та ініціали)

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Інститут Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та
робототехніки
Кафедра Автоматики, електроніки та телекомунікацій
Ступінь вищої освіти Магістр
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри автоматки,
електроніки та телекомунікацій


О.В. Шефер

«01» жовтня 2025 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Торбенку Андрію Сергійовичу

1. Тема проєкту (роботи) **«Дослідження та удосконалення системи електроприводу насосів водообігу на цукровому заводі».**
Керівник проєкту Кожушко Григорій Мефодійович, д.т.н., професор, затверджена наказом вищого навчального закладу №1025-ф.а. від 03.09.2025 року.
2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 22.12.2025р.
3. Вихідні дані до проєкту (роботи): продуктивність насосів – до 800 м³/добу; напруга електричного ланцюга – 380В; встановлена потужність – 400 кВт; режим роботи – цілодобовий.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Аналіз технологічного процесу виробництва цукру з точки зору водообігу. Аналіз системи електроприводу насосів водообігу як об'єкта модернізації. Аналіз напрямку модернізації системи водообігу та електроприводів насосів. Вимоги до електроприводів насосів водообігу. Вибір двигунів насосів водообігу. Аналіз кінематичної схеми та визначення її параметрів. Розрахунок основних параметрів об'єкта керування. Розробка раціональної системи керування. Вибір перетворювача частоти. Розробка функціональної схеми САК електроприводу. Розрахунок перехідних процесів та визначення показників якості. Розробка функціональної схеми автоматизації водообігу на цукровому заводі. Вибір засобів автоматизованої системи водообігу. Вибір елементів схеми керування електроприводами оборотної води. Характеристика реле тиску. Розробка функціональної схеми водооборотної системи охолодження цукрового заводу. Апаратні засоби автоматизації градирні на цукровому заводі. Алгоритмічне та програмне забезпечення градирень на цукровому заводі. Моделювання водооборотної системи охолодження цукрового заводу.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових плакатів):
 1. Аналіз технологічного процесу виробництва цукру.

2. Пошук рішень удосконалення системи водообігу на цукровому заводі.
3. Функціональна схема САК електроприводів насосів водообігу на цукровому заводі.
4. Дослідження САК електроприводів насосів водообігу на цукровому заводі.
5. Функціональна схема автоматизації системи водообігу на цукровому заводі.
6. Вибір засобів автоматизації системи водообігу на цукровому заводі.
7. Функціональна схема водооборотної системи охолодження на цукровому заводі.
8. Принципова схема єдиного диспетчерського посту водооборотної системи охолодження на цукровому заводі.
9. Моделювання водооборотної системи охолодження цукрового заводу.
10. Висновки.

6. Дата видачі завдання 15.09.2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра	Термін виконання етапів роботи		Примітка (плакати)
		Дата	Відсоток	
1	Аналіз технологічного процесу виробництва цукру з точки зору водообігу. Аналіз системи електроприводу насосів водообігу як об'єкта модернізації. Аналіз напрямку модернізації системи водообігу та електроприводів насосів	14.10.25	10%	Пл. 1, 2
2	Вимоги до електроприводів насосів водообігу. Вибір двигунів насосів водообігу. Аналіз кінематичної схеми та визначення її параметрів. Розрахунок основних параметрів об'єкта керування. Розробка раціональної системи керування	21.10.25	I 25%	Пл. 3, 4
3	Вибір перетворювача частоти. Розробка функціональної схеми САР електроприводу. Розрахунок перехідних процесів та визначення показників якості	06.11.25	50%	Пл. 5, 6
4	Розробка функціональної схеми автоматизації водообігу на цукровому заводі. Вибір засобів автоматизованої системи водообігу. Вибір елементів схеми керування електроприводами оборотної води. Характеристика реле тиску. Розробка функціональної схеми водооборотної системи охолодження цукрового заводу	18.11.25	II 60%	Пл. 7, 8
5	Апаратні засоби автоматизації градирні на цукровому заводі. Алгоритмічне та програмне забезпечення градирень на цукровому заводі. Моделювання водооборотної системи охолодження цукрового заводу	12.12.25	70%	Пл. 9, 10
6	Оформлення кваліфікаційної роботи	22.12.25	III 100%	

Студент


(підпис)

Торбенко А.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Кожушко Г.М

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

кваліфікаційної роботи

«Дослідження та удосконалення системи електроприводу насосів водообігу на цукровому заводі»

Робота містить 89 сторінок, 54 ілюстрацій, 14 таблиць, 23 використаних джерел.

Ключові слова: система автоматичного керування, водообіг, імітаційне моделювання, градирня.

Об'єктом магістерської роботи є система керування системою водообігу цукрового заводу.

Предметом магістерської роботи є пошук напрямків вдосконалення та розробка сучасної САК водообігу цукрового заводу.

Метою магістрескої роботи є пошук сучасних рішень для удосконалення системи електроприводу насосів водообігу на цукровому заводі.

У першому розділі провели аналіз технологічного процесу водообігу на цукровому заводі. Виконали огляд та моделювання послідовного, паралельного та комбінованого способу установки електроприводів насосів. У другому розділі, відповідно до вимог сучасного електропривода, розраховали та підібрали двигун. Виконали аналіз кінематичної схеми електропривода та визначили її параметри. Дослідили сучасні рішення керування електроприводом та розробили раціональну систему керування для системи водообігу на цукровому заводі. Для розробленої системи склали функціональну та структурну схеми. Виконали розрахунок перехідних процесів та визначення показників якості. У третьому розділі розробили контури автоматизації для системи водообігу на цукровому заводі. У четвертому розділі розробили універсальну автоматизовану систему регулювання температури охолодженої води через керування електроприводом вентиляторної градирні.

ABSTRACT

of the qualification work

«Research and improvement of the electric drive system of water circulation pumps
at a sugar factory»

The work contains 89 pages, 54 illustrations, 14 tables, 23 sources used.

Keywords: automatic control system, water circulation, simulation modeling,
cooling tower

The object of the master's work is the control system of the water circulation system of a sugar factory.

The subject of the master's work is the search for directions for improvement and development of a modern automatic control system for water circulation of a sugar factory.

The purpose of the master's work is the search for modern solutions for improving the electric drive system of water circulation pumps at a sugar factory.

In the first section, an analysis of the technological process of water circulation at a sugar factory was conducted. A review and modeling of the sequential, parallel and combined method of installing electric drives for pumps was performed. In the second section, in accordance with the requirements of a modern electric drive, the engine was calculated and selected. We analyzed the kinematic scheme of the electric drive and determined its parameters. We studied modern solutions for controlling the electric drive and developed a rational control system for the water circulation system at the sugar factory. We compiled functional and structural diagrams for the developed system. We calculated transient processes and determined quality indicators. In the third section, we developed automation circuits for the water circulation system at the sugar factory. In the fourth section, we developed a universal automated system for regulating the temperature of chilled water through the control of the electric drive of the fan cooling tower.

ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВОДООБІГУ НА ЦУКРОВОМУ ЗАВОДІ	
1.1 Аналіз технологічного процесу виробництва цукру з точки зору водообігу	10
1.2 Аналіз системи електроприводу насосів водообігу як об'єкта модернізації	18
1.3 Аналіз напрямку модернізації системи водообігу та електроприводів насосів	24
РОЗДІЛ 2 МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ СИСТЕМИ ВОДООБІГУ НА ЦУКРОВОМУ ЗАВОДІ	
2.2 Вимоги до електроприводів насосів водообігу	31
2.2 Вибір двигунів насосів водообігу	34
2.3 Аналіз кінематичної схеми та визначення її параметрів	35
2.4 Розрахунок основних параметрів об'єкта керування	41
2.5 Розробка раціональної системи керування	43
2.6 Вибір перетворювача частоти	48
2.7 Розробка функціональної схеми САК електроприводу	51
2.8 Розрахунок перехідних процесів та визначення показників якості	57
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ВОДООБІГУ НА ЦУКРОВОМУ ЗАВОДІ	
3.1 Розробка функціональної схеми автоматизації водообігу на цукровому заводі	61
3.2 Вибір засобів автоматизованої системи водообігу	65
3.3 Вибір елементів схеми керування електроприводами оборотної води	68
3.3.1 Вибір контакторів	68
3.3.2 Захист плавкими запобіжниками	69
3.3.3 Вибір датчиків тиску	70

3.3.4 Характеристика реле тиску	71
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ОХОЛОДЖЕННЯМ ОБОРОТНОЇ ВОДИ	
4.1 Розробка функціональної схеми водооборотної системи охолодження цукрового заводу	72
4.2 Апаратні засоби автоматизації градирні на цукровому заводі	74
4.3 Алгоритмічне та програмне забезпечення градирень на цукровому заводі	80
4.4 Моделювання водооборотної системи охолодження цукрового заводу	83
ВИСНОВКИ	86
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	87
ДОДАТОК А	91
ДОДАТОК Б	92

ВСТУП

Актуальність роботи. Впровадження сучасних систем керування водооборотних систем на промислових підприємствах – один з найбільш важливих методів вирішення екологічних проблем в умовах промисловості, що постійно розвивається. В даний час в цукровому секторі питома вага оборотних вод становить лише 80-85% від загальної кількості води, що споживається. Розвиток оборотного водопостачання сприятиме захисту водних ресурсів від забруднення та виснаження, оскільки вдосконалення схем цього процесу є одним із етапів створення безстічного цукробурякового виробництва.

Приставаючи до дослідження та вдосконалення систем водообігу цукрового заводу, необхідно дотримуватись певних вимог, а саме:

- окремі системи та оборотні цикли повинні об'єднувати водоспоживачів залежно від якості споживаної ними води та характеристики відпрацьованих вод;

- максимально можливе використання оборотної води замість свіжої;

- чіткий поділ відпрацьованих вод по окремих системах залежно від методу їх очищення та подальшого використання очищених вод. Необхідно враховувати, що оборотні води в основному піддають очищенню лише за тими показниками, які лімітують багаторазове використання води для конкретних виробничих операцій та апаратів;

- при організації оборотного водопостачання слід прагнути створення повністю автономних, замкнутих систем;

- схема водного господарства має бути економічно незалежною.

Враховуючі вищевикладене, **метою магістрської роботи** є пошук сучасних рішень для удосконалення системи електроприводу насосів водообігу на цукровому заводі.

Об'єктом магістрської роботи є система керування системою водообігу цукрового заводу.

Предметом магістрської роботи є пошук напрямків вдосконалення та розробка сучасної САК водообігу цукрового заводу.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні завдання:

- проаналізувати технологічний процес виробництва цукру з точки зору водообігу;
- виконати аналіз системи електроприводу насосів водообігу як об'єкта модернізації;
- визначити напрямки модернізації системи керування водообігу та електроприводів насосів;
- окреслити вимоги до електроприводів, виконати їх вибір;
- виконати аналіз кінематичної схеми та визначення її параметрів;
- розрахувати основні параметри об'єкта керування;
- розробити раціональну систему керування, функціональну схему САК електроприводу,
- розрахувати перехідні процеси та визначення показників якості;
- сформувати функціональну схему автоматизації водообігу на цукровому заводі;
- обрати засоби та елементи схеми керування автоматизованої системи водообігу;
- розробити функціональну схему водооборотної системи охолодження цукрового заводу;
- проаналізувати алгоритмічне та програмне забезпечення градирень на цукровому заводі;
- виконати моделювання водооборотної системи охолодження цукрового заводу.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВОДООБІГУ НА ЦУКРОВОМУ ЗАВОДІ

1.1 Аналіз технологічного процесу виробництва цукру з точки зору водообігу

Цукрове виробництво пов'язане із споживанням та скиданням великої кількості води. При цьому, як випливає з таблиці 1.1, основна кількість свіжої води витрачається на технологічні потреби.

Таблиця 1.1 – Середні дані водоспоживання на різні потреби в цукровому виробництві м³ на 1 т буряка, що переробляється

Види споживання	Свіжа вода		Оборотна вода	Послідовно використовується
	Всього	У тому числі питна вода		
На власні потреби:	1,62	0,03	15,04	2,97
–технологічні	1,46	0,03	15,04	2,29
–допоміжні	0,16	0	1,18	0,68
На господарські потреби	0,18	0,10	0	0,03
Всього	1,8	0,13	16,22	3,00

У технології цукру для виробничих цілей використовують воду із джерел питного водопостачання (артезіанську та водопровідну); свіжу технічну (річкову чи водопровідну); води, що утворюються в процесі виробництва, – барометричну та конденсати [2].

Для проведення технологічних процесів (миття буряків, охолодження та конденсації пари в конденсаторах, охолодження насосів, охолодження утфелю останньої кристалізації) використовується природна вода (вода з річок, озер).

Артезіанська вода витрачається на пробілювання цукру в центрифугах, розгойдування утфелю першої кристалізації та потреб заводської лабораторії.

Потреба цукрового заводу у воді становить 20 т води різної якості на 1 т сировини, що переробляється, у тому числі 2-2,5 т свіжої води [6].

Принципова схема цукробурякового виробництва, з урахуванням водоспоживання, наведена на рисунку 1.1.

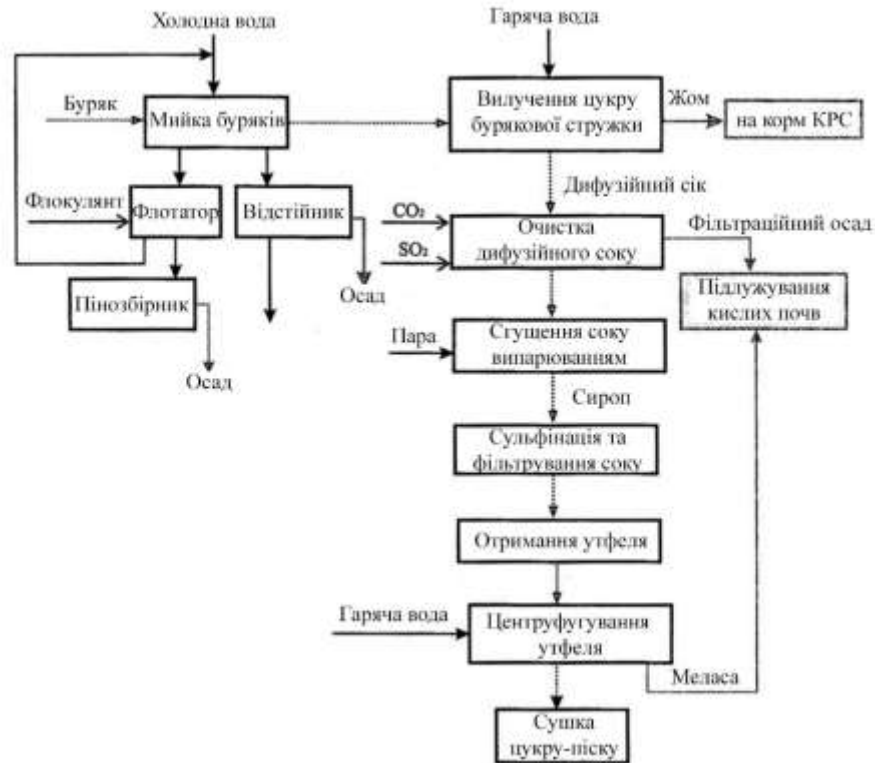


Рисунок 1.1 – Принципова схема цукробурякового виробництва з урахуванням водовідведення

Воду, що відпрацювала, залежно від ступеня забруднення ділять на три категорії. Норми водоспоживання та водовідведення залежно від категорії відпрацьованої води представлені у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Норми водоспоживання та водовідведення на підприємствах цукрової промисловості

Водоспоживання, % від маси буряка				Водовідведення, % від маси буряка		
Свіжа річкова вода	Промислова охолоджена оборотна вода	Промислові стічні води III категорії	Питна вода	Стічні води I категорії	Стічні води II категорії	Стічні води III категорії
159,0	745,9	146,4	26,0	784,4	815,5	146,4

Воду I категорії розподіляють на 2 групи. Вода, що застосовувалась для обладнання ТЕЦ, насосних установок, компресорів, а також слугувала

охладженням для сульфітаційного газу доцільно віднести до групи А. Вода цієї групи після експлуатації зберігає аналогічний склад початковій воді, проте її температура підвищується на 5-10°C. Барометрична вода, а також конденсати експлуатаційної та вторинної пари доцільно віднести до групи Б. Для цієї групи притаманна температура 40-50 °C і більше [8].

Земля, солома, шкірки в першу чергу, а також корінці та уламки буряків формують основний склад транспортно-мийної води, яка відноситься до II категорії. Для цієї категорії води притаманний процес бродіння, так як цукор проник із буряка до води. Процес бродіння досить небажаний в воді II категорії, тому потрібен тонкий процес очищення транспортно-мийної води.

Воду III категорії аналогічно розподіляють на 2 групи. Групу А представляє жомопресова вода, яка по-перше піддається освітленню, по-друге повертається в дифузійну установку, тим самим компенсуючі витрати свіжої води. Найбрудніша вода відноситься до групи Б, а саме густий осад з транспортно-мийної та жомопресової води. Вода з газоприймачів, сервемийок також доцільно віднести до цієї групи.

До таблиці 1.3 та 1.4 занесемо витрати стічних вод та їх характеристику на цукрових заводах.

Таблиця 1.3 – Сумарна витрата стічних вод, що скидаються

Стічні води I категорії	7,84 м ³ на 1 т продукції
Стічні води II категорії	8,15 м ³ на 1 т продукції
Стічні води III категорії	1,46 м ³ на 1 т продукції
1) промислові	0,09 м ³ на 1 т продукції
2) господарські	

Для видалення домішок стічні води категорії II (транспортно-мийну воду) очищають за схемою, представленою на рисунку 1.2. Стічну воду піддають очищенню від важких домішок та уламків буряків у хвостикоуловлювачі, камені пісколовці. Далі піддають відстоюванню спочатку в радіальному відстійнику (зі збірно-розподільчим пристроєм і вакуум-сифонною установкою для видалення осаду), а потім у вертикальному

відстійнику. Після вертикального відстійника декантат дезінфікують у мішалці хлорним вапном і повертають у гідротранспортери та буряки.

Таблиця 1.4 – Орієнтовна характеристика стічних вод бурякопереробної промисловості

Показники	Транспортерно-мийна вода	Стічна вода III категорії
Кількість води, % маси буряка	700-800	150-220
вміст, °С	10-17	12-25
зважені речовини	6000-8000	600-50000
сухий залишок	1600-1700	4000-15000
хлориди	40-60	15-200
сульфати	100-120	10-150
аміак	2-3	10-25
Вмісту цукру, % маси буряка	0,04	Сліди
Загальна жорсткість	10-13	6-30
Органічні речовини	1400-1800	2000-8000

Для видалення домішок стічної води категорії II (транспортно-мийну воду) очищають за схемою, представленою на рисунку 1.2. Стічну воду піддають очищенню від важких домішок та уламків буряків у хвостикоуловлювачі, пісколовці, радіальному відстійнику, вертикальному відстійнику, змішувачу (знезараження), гідротранспортерам, бурякомийці [10].



Рисунок 1.2 – Принципова схема очищення транспортно-мийної стічної води

Анаеробний спосіб технології очистки стічних вод цукробурякових заводів вважається новим і може застосовуватися для очищення вод II і III.

Стічні води цукрових заводів містять значну кількість механічних домішок, які негативно впливають на процеси, що протікають при їх біологічному очищенні. Ретельне очищення стічних вод від механічних домішок, вміст яких перед анаеробним очищенням має становити максимум $0,1-0,2 \text{ кг/м}^3$, є обов'язковою умовою для наступного анаеробного очищення.

На рисунку 1.3 представлена схема очищення стічних вод цукробурякового виробництва в анаеробних умовах, що складається з анаеробного реактора, флокулятора і пластинчастого відстійника, аеробного реактора, відстійника та додаткового обладнання у вигляді насосів, засобів регулювання та пристроїв для використання біогазу, що утворився [14].

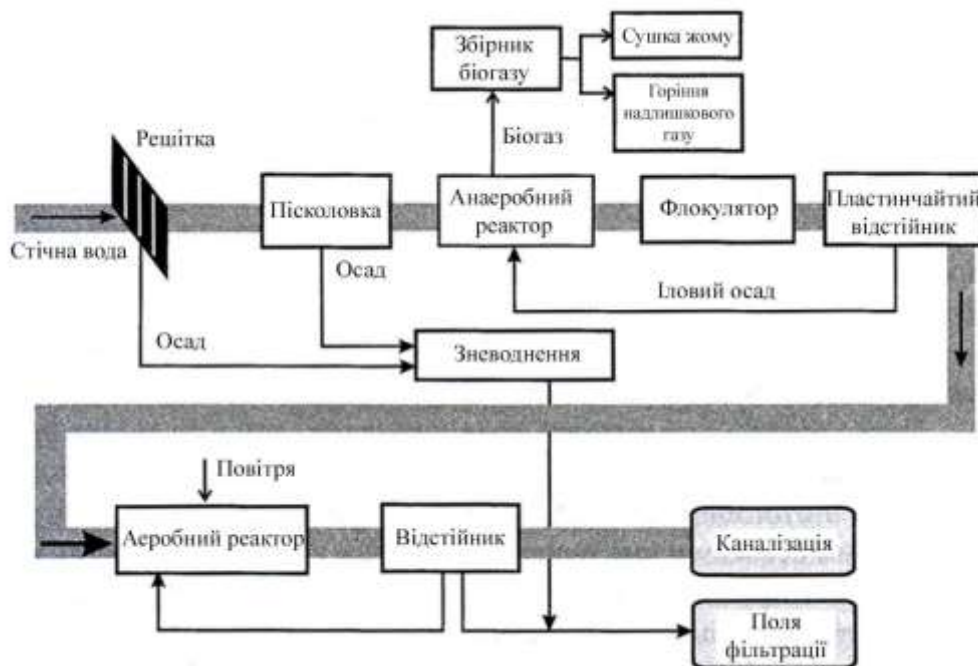


Рисунок 1.3 – Принципова схема станції очищення стічних вод цукрового заводу

Вихідні стічні води спрямовуються на решітки тонкої механічної очистки з прозорами 2 мм, де відбувається затримання грубодисперсних суспензій.

Після решіток стічні води проходять очищення від грубих механічних домішок (піску тощо) на вертикальній пісколовці. Затриманий пісок видаляється пісковим насосом на зневоднення.

Анаеробний реактор являє собою вертикальну ізольовану циліндричну ємність з пристроєм, що перемішує. Стічна вода і осад, що циркулюється, подаються в нижню частину реактора і ретельно перемішуються. Біогаз, що утворюється, піднімаючись вгору, також сприяє перемішуванню маси в реакторі. Тривалість перебування води, що очищається в анаеробному реакторі становить 2-2,5 діб. Після цього анаеробно очищена вода разом з анаеробним осадом надходить у флокулятор, який являє собою вертикальну циліндричну ємність, розділену на дві секції перегородкою, що не сягає 1 м до дна [2].

Вода разом з анаеробним осадом (суспензія) подається у верхню частину першої секції, у якій під час руху суспензії зверху вниз відокремлюються бульбашки газу. У другій секції при русі суспензії знизу вгору частинки осаду укрупнюються, що необхідно для подальшого його осадження. Щоб уникнути осадження осаду в другій секції змонтовано бічний пристрій, що перемішує. Потім суспензія подається в пластинчастий відстійник, а осад з відстійника знову повертається в анаеробний реактор (150% до маси стічної води, що подається очищається). Час знаходження води у флокуляторі та пластинчастому відстійнику становить 10-20 хв. Протягом цього часу не відбувається накопичення біогазу, який заважав би осадженню.

Після анаеробного очищення вода при необхідності може надходити на встановлення анаеробного очищення, що складається з анаеробного реактора та відстійника. В анаеробному реакторі вода перемішується з анаеробним осадом і інтенсивно анаерується повітрям, де залишкові домішки перетворюються на CO_2 . З анаеробного реактора суспензія надходить у відстійник відділення анаеробного осаду, який частково повертається в анаеробний реактор. З осадом повертається більшість біогенних елементів і речовин, необхідні для протікання анаеробного процесу [6].

Біогаз, що виділяється при зброджуванні, містить до 70 % метану, 20 % двоокису вуглецю, 8 % азоту, 2 % водню. Біогаз відводять через збірку на спеціальну свічку або збирають у мокрі газгольдери і надалі за необхідності

використовують у установках для сушіння жому. Надлишковий біогаз спалюється у пальнику.

Конструктивно анаеробні реактори, пропонувані для очищення стічних вод цукробурякового виробництва, аналогічні метантенкам, що застосовуються для зброджування опадів побутових стічних вод.

На цукрових заводах достатньо тепла, що відходить (конденсати з випарної установки і вакуум-апаратів), яке може бути використане для підтримки необхідних температур анаеробного зброджування стічних вод.

Застосування запропонованого методу дозволить скоротити поля фільтрації, що покращить екологічну обстановку в районах розташування цукрових заводів [8].

Комбіновані споруди (КС) двоступеневого очищення можуть використовуватися для очищення концентрованих стічних вод цукрових заводів з вмістом органічних забруднень за БПК 1000-5000 мг/дм³ та завислих речовин до 3000 мг/дм³.

Такі споруди після ґрат і пісковловлювачів передбачають очищення стічних вод у біокоагуляторі, де здійснюється затримання зважених речовин та вилучення частини розчинених органічних сполук за рахунок сорбції, флотації та коагуляції забруднень надлишковим активним мулом, що подається з комбінованих споруд II ступеня очищення. Можлива також подача в біокоагулятор надлишкового мулу з I ступеня. Ефект очищення стічних вод у біокоагуляторі досягає БПК 25-30%, за зваженими речовинами 60-70%. З біокоагулятора стоки надходять у камеру змішування КЗ I ступеня. Передбачається також можливість подачі частини вихідних стічних вод до камери змішування КЗ II ступеня [10].

Камера змішування є плацдармом для змішування стічних вод та циркулюючої мулової суміші, що є вихідним продуктом анаеротенка-відстійника. Циркуляційний насос перекачує цю суміш до системи зрошення біофільтра. До складу системи біофільтра входять водорозподільні лотки зі зливальними патрубками та відбивні диски. Алгоритм роботи полягає в

дроблені падаючих струменів рідини, чим і відбувається зрошення завантаження біофільтра. Далі рідина скеровується збірними піддонами до аераційних колон. Вихрові воронки спонукають засмоктування повітря в цих колонах. Анаераційними колонами водоповітряна суміш розподіляється за обсягом анаеротенку. Ударна дія водоповітряних смолоскипів об днище анаеротенку та рух газорідинних потоків забезпечують ефективне перемішування вмісту анаеротенку. Із зони анаерації мулова суміш надходить у зону відстоювання. Частина мулу групується в пластівці, ущільнюється і частково (через щілину) повертається до зони анаерації. Інша частина мулу разом з транзитною витратою піднімається і утворює зважений фільтр, в якому також відбувається сорбція та окислення забруднень та затримання окремих дрібних частинок мулу. Вода, що відокремлюється, надходить у збірні лотки і відводиться на подальшу обробку [14].

У КЗ I ступені освітлені стічні води проходять неповне біологічне очищення (по БПК 60-80%; за виваженими речовинами 70-90%) при високих навантаженнях на активну біомасу. Далі здійснюється повне біологічне очищення на КЗ II ступені з низькими навантаженнями на активний мул. Ефективність очищення в КЗ II ступені становить за БПК та завислими речовинами до 15 мг/дм³.

Надлишковий мул, що володіє високою сорбційною здатністю, направляється в біокоагулятори для збільшення ефекту освітлення вихідних стічних вод. Технологія очищення передбачає можливість подачі частини стічних вод після пісколовки та біокоагулятора безпосередньо на КЗ II ступеня та подачі в біокоагулятори надлишкового мулу з КЗ I ступеня для забезпечення гнучкої системи керування процесами очищення. Енергетичні витрати за цією технологічною схемою становлять 0,15-0,2 кВт/кг БПК.

Застосування очисних споруд на підприємствах цукрової промисловості дозволить заощадити до 64 млн. м³ природного газу за рахунок використання біогазу, що виділяється.

1.2 Аналіз системи електроприводу насосів водообігу як об'єкта модернізації

Необхідно відзначити, що багато недоліків функціонування системи водного господарства були наслідком нераціональної схеми роботи та застарілого технологічного обладнання основного виробництва, проектування виробництва без урахування особливостей кліматичних умов, якості буряків та умов їх зберігання та переробки, що тією чи іншою мірою впливає на роботу споруд водного господарства [14].

Пристаюючи до створення або вдосконалення оборотних систем, необхідно дотримуватись певних вимог, а саме:

- окремі системи та оборотні цикли повинні об'єднувати водоспоживачів залежно від якості споживаної ними води та характеристики відпрацьованих вод. При цьому, по можливості, слід згрупувати споживачів з подібними показниками в одній системі. До показників відносяться як фізико-хімічні, біохімічні (температура, вміст зважених речовин, жорсткість, БПК, ГПК та ін), так і технологічні (натиск, періодичність споживання, надійність подачі води і т. д.);

- максимально можливе використання оборотної води замість свіжої;
- чіткий поділ відпрацьованих вод по окремих системах залежно від методу їх очищення та подальшого використання очищених вод. Необхідно враховувати, що оборотні води в основному піддають очищенню лише за тими показниками, які лімітують багаторазове використання води для конкретних виробничих операцій та апаратів;

- при організації оборотного водопостачання слід прагнути створення повністю автономних, замкнутих систем, тобто. оборотних систем без скидання води в межі системи (наприклад, як продувок і надлишкових вод) і з мінімальними підживленнями свіжою водою;

- схема водного господарства має бути економічно незалежною та забезпечувати технологічні процеси основного виробництва за оптимальних

умов (температура, вологість, трудомісткість, санітарний стан, знос обладнання тощо) без зниження техніко-економічних показників підприємства;

– враховуючи територіальне розташування споживачів води, прагнути максимально можливого скорочення кількості насосних станцій та протяжності водопровідних і каналізаційних мереж.

У різних галузях народного господарства для транспортування різних рідин та сумішей використовуються насоси та насосні установки. Через систему електропривода насоси та насосні установки переробляють механічну енергію в гідравлічну.

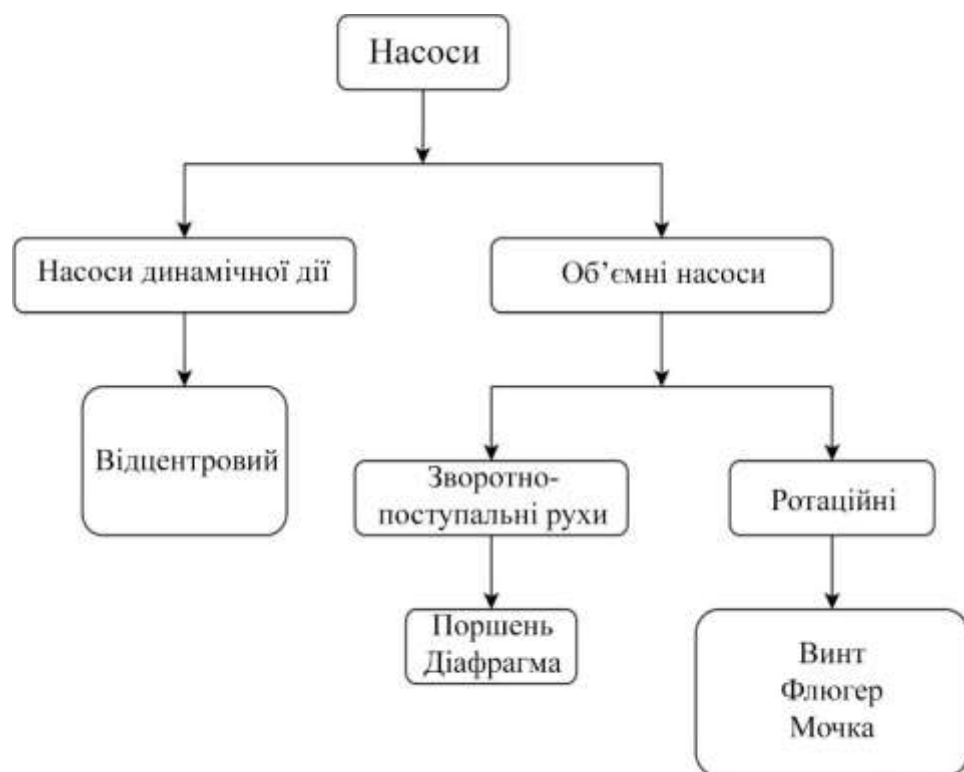


Рисунок 1.4 – Класифікація насосів

Альтернативною можливістю для складних технологічних процесів при вимозі зменшення потужності та габаритних розмірів двигуна можливе застосування декількох насосів (паралельна або послідовна робота) [10].

Для різноманітних технологічних процесів висуваються різні вимоги, що ускладнює ефективну роботу насоса біля його точки найкращої ефективності (ТНЕ). Робота в такому режимі впливає на його технічне обслуговування та корекцію витрат в більшу сторону. Система відообігу цукрового заводу вимагає

високого статичного напору, що робить потенційно ефективність загальної системи більше при використанні декількох насосів. На зглажену роботу декількох насосів впливає крива насосу та системи, потенційні збурюючі впливи [8].

Така перевага доступна в системах з великим попитом на високий статичний натиск. В такій ситуації використання декількох насосів дають системі гнучкість, резерв та ефективність. При наявності в системах високого коефіцієнту тертя ефективність використання декількох двигунів знижується, тоді більш ефективно використовувати частотно-регульований електропривод, що більш точно та ефективно задовольність вимоги системи.

При застосуванні декількох насосів, як правило, вибирають насоси однієї марки та моделі. Схема вмикання зазвичай має паралельну комбінацію. При такій схемі в лінії збільшується потік, що неминуче переміщує робочу точку праворуч вздовж самої кривої системи (рис. 1.5).

Паралельна схема з'єднання насосів вимагає дотримання певних правил, при яких система буде ефективно працювати. По-перше, насоси повинні має однакові характеристики: потужність, швидкість обертання електропривода. Неможливо допустити, що один насос буде домінувати в системі, що може призвести до роботи насосів нижче мінімальної витрати. Якщо ж використовуються насоси різного типорозміру, то необхідно ретельно проаналізувати їх робочі характеристики [6].

Багато причин для використання паралельних чи послідовних насосів замість одного насоса більшого розміру. Вони можуть включати:

- нижча первісна вартість;
- нижча вартість установки;
- збільшене резервування;
- простіше технічне обслуговування;
- нижчі експлуатаційні витрати;
- значна економія енергії.

При проектування системи водообігу цукрового заводу потрібно чітко знати вимоги системи, щоб досягти максимальної ефективності. Важливим етапом при проектуванні є правильний вибір послідовної чи паралельної схеми, що повинно забезпечити оптимальну економію енергії та максимальну продуктивність системи в цілому [2].

Точка найкращої ефективності (ТНЕ) є ціллю використання декількох насосів, а саме правильний вибір потужності насосів, їх характеристик. ТНЕ характеризує насос як найвища ефективність його роботи, а також найнижчі радіальні навантаження підшипників. Такі параметри, як конфігурація на вході, конструкція корпусу та робочого колеса, технічні характеристики, прямо впливають на ТНЕ насоса. Максимальною гідравлічною ефективністю характеризується ТНЕ, що дозволяє рідині надходити нормальним способом до дифузора корпусу, у лопаті колеса. Рівномірним та контрольованим у такому випадку є потік через робоче колесо та лопаті дифузора. В залежності від діапазону потужностей, що впливає на контрольованість насоса, визначається краща робоча область (КРО). У діапазоні КРО експлуатаційні характеристики насоса будуть максимально високими та незалежатимуть від гідравлічних навантажень. Максимальні та мінімальні характеристики насосу визначатимуть допустиму робочу область (ДРО).

Найбільш вразливим місцем насосів є роликові або шарикові підшипники. Експлуатаційні умови насосів прямо впливають на термін їх служби, а отже і межремонтний інтервал. Тому при проектуванні схеми та виборі насосів необхідно максимально близько орієнтуватись на ТНЕ, що ефективно вплине на роботу підшипників.

Гнучкість в експлуатації, більш висока ефективність, більш прості вимоги до обслуговування притаманні комбінації насосів замість одного великого (рис.1.5).

Паралельне використання насосів дозволяє потенційно розширити діапазон витрати в системі водообігу на цукровому заводі. Керування групою насосів дозволяє кожному з них досягти ТНЕ. Однак при використанні даної

схеми вмикання насосів слід дуже уважно вивчати характеристики насосів, щоб дотриматись мінімальних вимог до їх експлуатації [6].

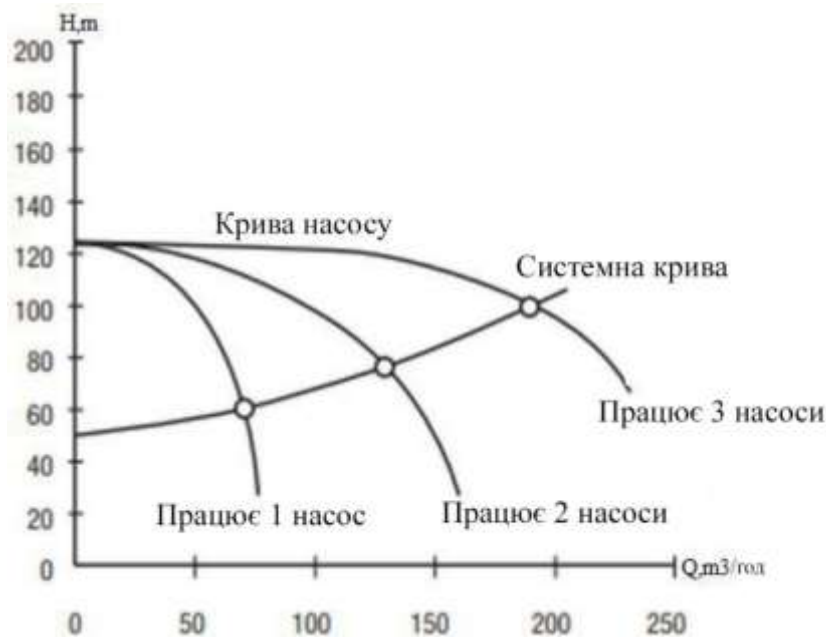


Рисунок 1.5 – Крива роботи комбінації насосів відносно системної кривої

Чуттєвою перевагою групи насосів є той факт, що при виходу з ладу одного насосу система продовжить працювати, що унеможливорює зупинку важливих етапів технологічного процесу виробництва цукру. Тобто відмова одного елементу не зупиняє всю систему, що дозволяє мінімізувати витрати на виробництво.

З іншого боку сумісна робота декількох насосів наближає робочі характеристики кожного з них до ТНЕ. Декілька конфігурацій насосів дозволяють кожному насосу працювати близько до його ТНЕ, що також позитивно впливає на термін служби підшипників. Наприклад, байпасні лінії і дросельні заслінки менш ефективні, так як частина енергії розсіюється, що значно впливає на якість регулювання потоку. При використанні габаритного та потужного насосу в умовах слабкого потоку вимагає значного дроселювання, що знижує КПД та віддаляє від ТНЕ. Зниження КПД відбувається за рахунок зносу дросельних заслінок. Ще одним способом зменшення потоку є його обхід, але прощтовхування надлишкового потоку через байпасні лінії призводить до марних втрат енергії [8].

При необхідності зміни потоку один насос повинен працювати у більшому діапазоні, тому при регулюванні потоку віддаляється від своєї точки ТНЕ. При використанні групи насосів кожен з них працює в своїй ТНЕ, а зміна потоку несуттєво віддаляє від їх точок ТНЕ. Такий підхід значно підвищує загальний КПД системи. Також вмикання або вимкання насосів дозволяє плавно змінювати потік без суттєвих стрибків та гідравлічних ударів.

Найбільш вживаними насосами є високошвидкісні насоси, що є більш ефективними за низькошвидкісні. Високошвидкісні насоси мають значно більший КПД, ширший діапазон та способи регулювання потоку. Але насоси з показниками швидкості більше 3000 об/хв. Однак частотні обмеження стандартної електромережі (50 Гц) лімітують максимально допустиму швидкість обертання електродвигуна на рівні 3000 об/хв, що накладає обмеження зростання продуктивності без зміни конструкції або застосування частотно-регульованих приводів. Бажано не використовувати в водному господарстві, бо вони втрачають свою ефективність. Для невеликих потреб доцільніше використання кількох високошвидкісних насосів, ніж одного низькошвидкісного насосу. З іншого боку, високошвидкісні насоси більш вибагливі в технічному обслуговуванні, за рахунок чого їх експлуатаційна ефективність знижується [10].

Безумовно важливо вибрати насосне обладнання з якісних комплектуючих від перевіреного виробника. Крім того, має значення грамотний монтаж та експлуатація всіх компонентів, що входять до складу насосної системи. Тільки так можна досягти максимальної енергоефективності.

З іншого боку потужність рідини потоку може бути підібрана аналогічним чином відповідно до вимог багатошвидкісного двигуна. Регулювання швидкості насосу впливає на його робочі характеристики, як видно з рисунку 1.6. При збільшенні швидкості насосу крива продуктивності переміщується праворуч вгору, а при зменшенні – ліворуч вниз. Здатність працювати в широкому діапазоні вимог є ключовим козирем

високошвидкісних насосів. До переваг також можна віднести більш компактний корпус та елементів системи, таких як клапан [14].

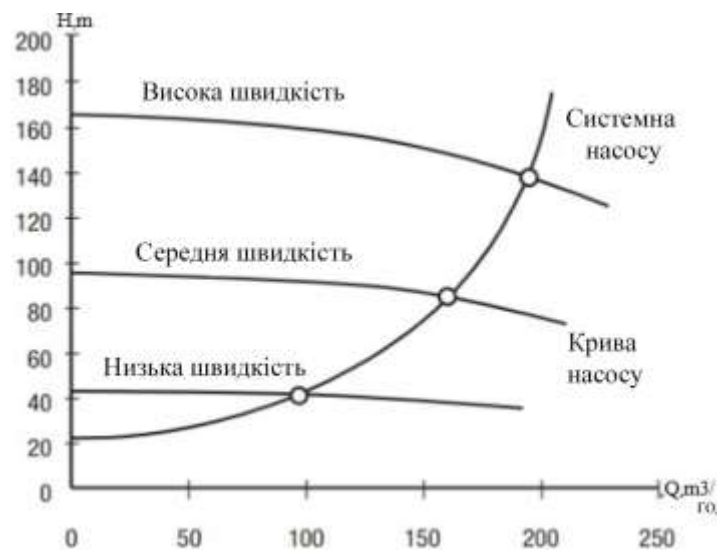


Рисунок 1.6 – Криві залежності швидкості багатшвидкісного насоса від продуктивності системи

1.3 Аналіз напрямку модернізації системи водообігу та електроприводів насосів

Один всмоктувач та випускний колектор для декількох насосів робить систему паралельною. Для даного проєктування будемо вважати, що насоси розташовані близько один від одного та різниця в тиску відсутня. Також відмінності в тиску всмоктування немає. Тобто цими параметрами можливо знехтувати. Значні відмінності у тиску всмоктування призводять до додаткових умов проєктування, щоб задовольнити мінімальні потреби системи. При проєктуванні варто врахувати запас за потужністю, щоб один насос міг обробити повну витрату рідини, але встановлений паралельно. Така схема задовольнить вимоги системи водообігу навіть при виході з ладу паралельного насоса. Така схема задовольняє повне резервування потоку рідини. На практиці така система не досить поширена у зв'язку з початковими витратами на систему водообігу.

Для системи водообігу на цукровому заводі необхідно інший підхід. Для нашої системи непотрібне повне резервування, тому можливо обрати насоси для сумарного задоволення потоку. Такий підхід зменшує початкові витрати на систему водообігу, але і кількість насосів збільшується. Для таких систем можна застосовувати як ручне, так і автоматичне керування. Насоси працюють не на повному навантаженні, що збільшує їх експлуатаційні характеристики та термін служби. Схема передбачає зміну характеристик насосів при зміні навантаження, що неодмінно призведе до заощадження електроенергії та зниження експлуатаційних витрат. Схема паралельного перекачування дозволяє досягати дуже високого рівня КПД (зазвичай від 70% до 90%) загального потоку, при цьому знижуючи витрати в порівнянні з варіантом повного резервування.

Для більшості систем водообігу встановлюють три насоси, що розраховані на половину повного потоку. Алгоритм роботи наступний: два насоси забезпечують повний потік, а третій насос знаходиться в повному резерві. Насос в резерві при виході з ладу обох основних насосів здатний витримати 70-90% навантаження [6].

Насосні системи зі статичним натиском, наприклад, системи водопостачання для конденсаторів або установки для підвищення тиску побутової води, а також насоси зі змінною швидкістю, що забезпечують постійний перепад тиску для належної роботи, є ідеальними кандидатами для використання в паралельному перекачуванні.

Паралельна схема використовується, коли необхідно:

- подолати подачу, яку не витримує один насос;
- короткочасно збільшити подачу у системі за умовами технологічного процесу;
- ступінчасто збільшити подачу;
- підвищити надійність системи, встановивши резервний насос.

Великі насосні установки, які потребують спеціального виготовлення насосів, двигунів і приводів, також добре підходять для впровадження

невеликих паралельних насосів. Менші за габаритами насоси мають потенційно нижчу початкову вартість, а також зазвичай обходяться дешевше в монтажі, експлуатації та технічному обслуговуванні.

На рисунку 1.7 представлено найпростіший варіант, що складається з двох паралельних насосів.

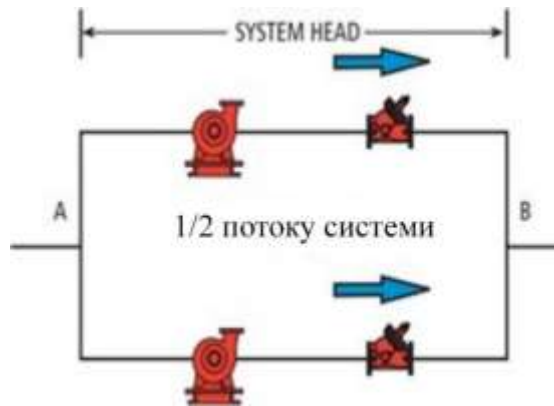


Рисунок 1.7 – Базова паралельна насосна установка

Важливі деталі, такі як дифузори, що всмоктують, і запірні клапани, не показані. Щоб проілюструвати концепцію паралельного перекачування, ми будемо використовувати два насоси, кожен із яких розрахований на половину повної витрати системи. Така система є найбільш поширеною, тому логічно використати її для системи водообігу цукрового заводу.

У точці «А» загальний потік системи ділиться на два паралельні шляхи через насоси та зворотні клапани. У точці «В» потоки з'єднуються і надходять в систему. Збільшення загального напору з «А» до «В», насоси, що забезпечується, завжди будуть рівні втраті напору в системі, вимірної від «В» до «А». Зворотні клапани на виході насоса необхідні для запобігання зворотному потоку через холостий насос, коли працює лише один насос. Зверніть увагу на зірочку в умовних позначках витрати насоса. Фактична витрата в кожній гільці буде більше половини повної витрати, навіть якщо кожен насос буде вибраний для половинної витрати. Фактичне збільшення потоку більше 50% може бути визначено до того часу, доки буде завершено повний аналіз [8].

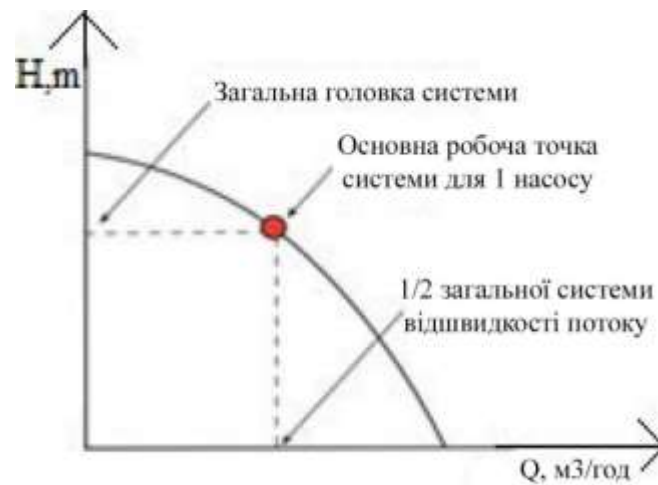


Рисунок 1.8 – Базова робоча точка паралельного насоса

Переваги послідовного та паралельного водообігу мають спільні переваги. Комбінація менших насосів використовується при послідовному перекачуванні, що дає змогу отримати ефективність. Такі маніпуляції при послідовному з'єднанні дають змогу отримати експлуатаційні та енергетичні переваги. Високий ступінь резервної продуктивності забезпечить послідовне перекачування з використанням двох або більше менших насосів для задоволення загальної потреби в перекачуванні. Великі насоси можуть мати дуже високі вимоги до ТНЕ [10].

Найбільш поширена схема послідовного з'єднання представлена на рисунку 1.9., де система клапанів дають змогу працювати одному насосу або в парі.

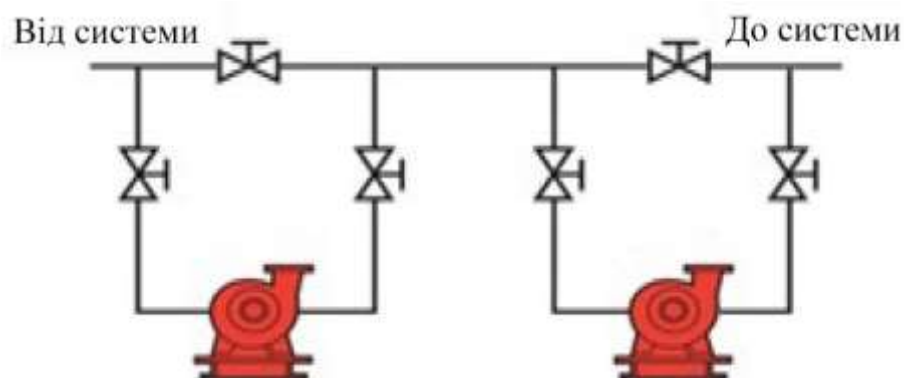


Рисунок 1.9 – Послідовна насосна установка

Такий тип розташування трубопроводів дозволяє вимкнути будь-який із насосів для проведення планового технічного обслуговування без переривання обслуговування системи. Перевага даної схеми при нормальній послідовній роботі загальний потік проходить через кожен насос [14].

При такому з'єднанні бажано застосовувати насоси одного типу та розмірів. У будь-якому випадку кожен насос має бути здатний обробляти повний потік. З рисунка 1.9 видно, кожен насос буде перекачувати весь потік системи. Відцентровий насос буде створювати перепад тиску широко відомий як головка насоса, зазвичай вказується у футах від головки. Оскільки серійні насоси, як правило, ідентичні та перекачують з однаковою швидкістю потоку, з цього повинно випливати, що кожен насос розвиватиме однаковий напір. Іншими словами, кожен насос забезпечує повну (розрахункову) витрату при половині необхідного (розрахункового) напору. Це показано на рисунку 1.10.

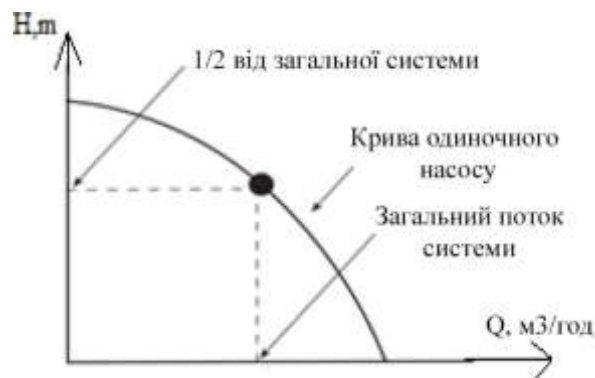


Рисунок 1.10 – Базова робота послідовного насосу

Можливо, потрібно передбачити майбутнє розширення комбіновані системи опалення та охолодження, які вимагають високої швидкості потоку для охолодження та відносно низької швидкості потоку для нагрівання системи, в яких використовуються двоходові регулюючі клапани, можна стабілізувати, змінюючи робочу точку насоса [2].

Широкий діапазон можливих робочих точок може бути отриманий під час використання насосів як послідовно, і паралельно. На рисунку 1.11 показано встановлення насосів як паралельно, так і послідовно.

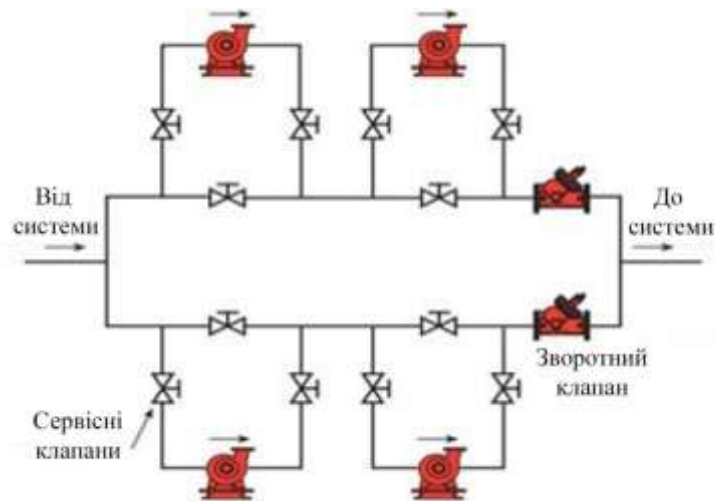


Рисунок 1.11 – Базова паралельна та послідовна установка насосів

На рисунку 1.12 показано два паралельні блоки з двома послідовно встановленими насосами на кожен блок. Використовуйте ті самі процедури, що були описані раніше, для побудови можливих робочих кривих насоса, які можна отримати за допомогою цієї установки [6].

Встановіть криву послідовного насоса, використовуючи криву одиночного насоса як основу. Потім побудуйте паралельну криву насоса, використовуючи послідовну криву як основу. Максимальна споживана індивідуальна потужність може бути швидко встановлена, оскільки це відбувається при послідовній роботі двох насосів.

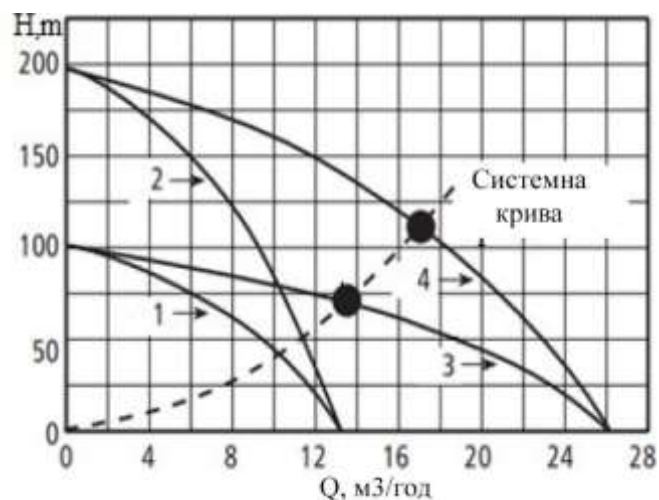


Рисунок 1.12 – Комбіновані паралельні та послідовні криві насоса

1 – одиночний насос; 2 – два послідовні насоси; 3 – два насоси паралельно; 4 – дві паралельні групи з двох послідовно з'єднаних насосів

На рисунку 1.12 показано, що в цьому насосному пристрої є чотири різні робочі точки насоса. Ці швидкості потоку можуть бути отримані шляхом запуску одного насоса, двох послідовно насосів, двох насосів паралельно або всіх чотирьох насосів. Зверніть увагу, що будь-яка комбінація із трьох насосів призведе до тупикової роботи насоса.

Кількість насосів, які можуть бути розміщені в комбінаціях паралельних та послідовних, не обмежена. Ми рекомендуємо паралельне та послідовне перекачування як один із способів підвищення гнучкості насосної системи, хоча перекачування зі змінною швидкістю може забезпечити ще більшу гнучкість та більший потенціал для економії енергії. При спільному використанні ці дизайнерські ідеї можуть забезпечити набагато більш високу продуктивність при нижчих початкових витратах та нижчих експлуатаційних витратах.

Висновки за розділом

Провели аналіз технологічного процесу водообігу на цукровому заводі. Прийшли до висновку, що цей процес має ряд недоліків у системі керування та потребує негайних сучасних їх рішень. Основними напрямками вдосконалення є система керування електроприводами, а також система охолодження водооборотної води. Виконали огляд та моделювання послідовного, паралельного та комбінованого способу установки електроприводів насосів.

РОЗДІЛ 2 МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ СИСТЕМИ ВОДООБІГУ НА ЦУКРОВОМУ ЗАВОДІ

2.1 Вимоги до електроприводів насосів водообігу

Вимоги:

- забезпечення плавного пуску, що допомагає уникнути піків та раптових коливань тиску, та вимкнути виникнення гідравлічного удару в трубопроводах;
- підтримка стабільного заданого значення технологічного параметра тиску в колекторі за командами оператора в межах 3,8-4,2 бар.;
- введення в роботу берегового насоса та виведення працюючого берегового насоса у стан резерву або в ремонт;
- здійснення пуску берегових насосів від мережі, при аварії високовольтного перетворювача частоти;
- діагностика всіх датчиків системи та гнучкий алгоритм підтримки працездатності станції при несправності датчиків; Захист насосів від роботи за відсутності води.

Статичною характеристикою мережі називається залежність між витратою рідини через трубопровід та напором H , необхідної для забезпечення витрати.

Рівняння статичної характеристики підтримки напору:

$$H_0 = H_{CT} + R \cdot Q_H; \quad (2.1)$$

де: H_{CT} – статична складова напору;

R – опір мережі, що змінюється в залежності від стану мережі від $100R_6$, при нульовому споживанні мережної води, до R_6 , при максимальному споживанні мережної води.

Базовий опір мережі визначається за формулою:

$$R_6 = \frac{H_H}{Q_H^2}; \quad (2.2)$$

Вибір електродвигуна обмежений вибором насоса, оскільки необхідно орієнтуватися на потреби підприємства з витрат рідини. У зв'язку з цим фактором необхідно визначити параметри кінематичної схеми механізму. Статичною характеристикою насоса називається залежність напору H від подачі насоса Q при постійній частоті обертання n робочого колеса. Статична характеристика насоса визначається за формулою:

$$H = H_0 \left(\frac{n}{n_H} \right)^2; \quad (2.3)$$

де: H_0 – натиск, що відповідає нульовій подачі, м;

n – поточна швидкість обертання насоса, об/хв;

n_H – номінальна швидкість обертання насоса, об/хв.

Напір є регульованою величиною мережі. Його змінюють шляхом зменшення чи збільшення подачі насоса. Водопровідну мережу без статичного напору представляють у вигляді аперіодичної ланки з коефіцієнтом передачі, що дорівнює зворотному значенню опору мережі. Таким чином, вхідною величиною ланки системи керування буде натиск у мережі, а вихідною – подача насоса в мережу.

Виходячи з витрати та необхідного напору води необхідно здійснити підбір насоса необхідної нам продуктивності з наступних умов:

$$\begin{cases} Q_{цн} > Q_H; \\ H_{цн} > H_H \end{cases}; \quad (2.4)$$

Протягом доби витрата води коливається в діапазоні від 1000 до 1350 м³/год. Відповідно до цих вимог, вибираємо насос серії 1Д1600-90а з продуктивністю 1450 м³/год. Параметри насоса 1Д1600-90а представлені у таблиці 2.1 [19].

Таблиця 2.1 – Параметри насоса

Найменування	1Д1600-90а
Максимальна споживана потужність, кВт	380
Мінімальний кавітаційний запас, м	7,1
Номінальний натиск, м в ст.	75
Номінальна витрата, м ³ /год	1450
Максимальний ККД, %	89
Синхронна частота обертання, об/хв	1500
Діаметр робочого колеса, мм	540
Максимальна температура води, °С	+85
Маса, кг	1165

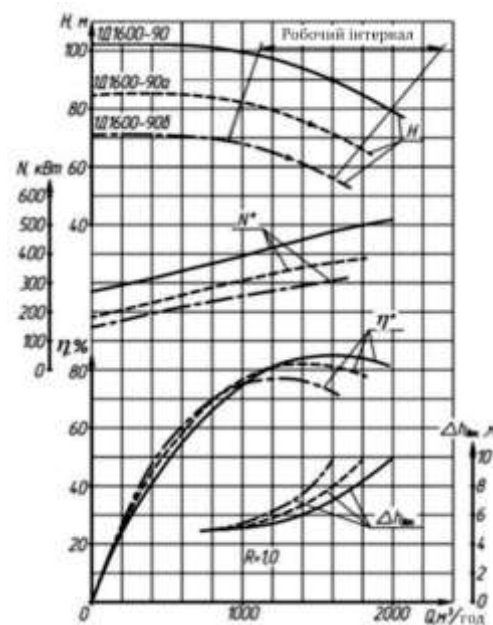


Рисунок 2.1 – Характеристика насоса типу 1Д1600-90а

Для експлуатації насоса та його підбору необхідно знати, як змінюються основні параметри насосів у різних умовах роботи.

Переваги насосних агрегатів 1Д1600-90а:

– використання насосів у різних галузях промисловості, як для перекачування води, так і для перекачування морської води, пластової води та хімічно активних нетоксичних рідин;

- врівноваження вісьових сил та зниження навантаження на підшипники, за рахунок застосування робочого колеса двостороннього входу;
- зниження радіальних навантажень на ротор під час роботи насоса на неномінальних режимах за допомогою виконання проточної частини на високонапірних насосах у вигляді подвійної спіралі;
- наявність горизонтального роз'єму корпусу насоса та кришки насоса дозволяє проводити ремонт на місці експлуатації без демонтажу трубопроводів [4].

На даному етапі вибір електродвигуна обмежений вибором насоса, так як насамперед необхідно орієнтуватися на потреби заводу з витрат води.

Як привод компактності конструкції, простоти з'єднань з турбомеханізмом та щодо низьких експлуатаційних витрат у масове застосування знайшли електродвигуни змінного струму. Режим роботи електроприводу тривалий S_1 .

2.2 Розрахунок та вибір насосів водообігу

Підбір електродвигуна здійснюється за частотою обертання, робочим положенням (горизонтальний, вертикальний), потужністю, напругою та видом виконання [3].

Потужність двигуна насоса визначається за формулою:

$$P = \frac{k \cdot \gamma \cdot Q_H \cdot H_H}{1000 \cdot \eta_H \cdot \eta_P}; \quad (2.5)$$

де: k – коефіцієнт запасу;

γ – питома вага рідини, що перекачується, Н/м^3 (для хол. води дорівнює 9810);

Q_H – продуктивність насоса, $\text{м}^3/\text{с}$;

H_H – напір насоса, м;

η_H – ККД насоса;

η_P – ККД передачі (при безпосередньому з'єднанні насоса з двигуном

$\eta_p = 1$).

$$P = \frac{1,1 \cdot 9810 \cdot 1450 \cdot 75}{1000 \cdot 1 \cdot 0,89 \cdot 3600} = 367 \text{ кВт.}$$

Двигуни вибираємо за каталогом, керуючись такими даними:

$P_H > 367 \text{ кВт}$, $I_H = 380 \text{ В}$, $n = 1500 \text{ об/хв}$.

За даними, виберемо трифазний асинхронний електродвигун марки 3MGS 355LA4. У таблиці 2.2 наведено його технічні параметри [20].

Таблиця 2.2 – Параметри електродвигуна 3MGS 355LA4

Характеристика	Позначення	Величина
Потужність, кВт	P_H	400
Номинальна напруга, В	i_H	380
Синхронна частота, об/хв	n_H	1500
Номинальний струм статора, А	I_H	705
Номинальна частота, Гц	f_H	50
Коефіцієнт потужності	$\cos_\alpha \theta$	0,91
ККД, %	η_H	94,5
Кратність максимального моменту	m_k	2
Кратність пускового моменту	m_p	1,2
Кратність пускового струму	i_p	6,5
Момент інерції кг м ²	$J_{дв}$	7

2.3 Аналіз кінематичної схеми та визначення її параметрів

Вибравши насосні агрегати спільно з електродвигунами, згідно з вимогами, необхідно спроектувати, проаналізувати кінематичну схему механізму та визначити її параметри.

На рисунку 2.2 представлена кінематична схема приводу.

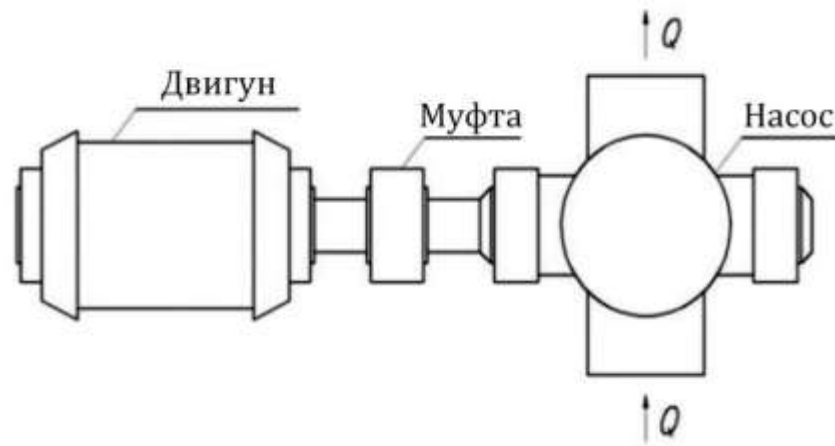


Рисунок 2.2 – Кінематична схема приводу

Для наочності визначення сил інерції та моментів на валу системи електроприводу та турбомеханізму спроектуємо одномасову модель.

Для аналізу механічної частини електроприводу реальний механізм замінюють динамічно еквівалентною, наведеною розрахунковою схемою, що складається з дискретних зосереджених інерційних елементів, з'єднаних між собою пружними зв'язками, і таким, що володіє таким же енергетичним запасом, як і реальна система. Тут під дискретним інерційним елементом розуміється тіло, що має властивості інерції, податливістю якого можна знехтувати. Під пружним зв'язком розуміється пружна ланка, масою якої можна знехтувати. У наведеній розрахунковій схемі всі інерційні елементи здійснюють один вид руху – обертальний. При цьому вони розташовуються на якомусь одному пружному зв'язку.

Розрахункові параметри можна приводити до будь-якого заздалегідь обраного місця кінематичної схеми механізму, будь-якого пружного її елемента. Якщо приведення проводиться до якогось валу механізму, то виходить розрахункова наведена схема обертальної системи, в якій всі маси мають загальну геометричну вісь [3].

На рисунку 2.3 представлено загальний момент інерції трубопроводу та двигуна.

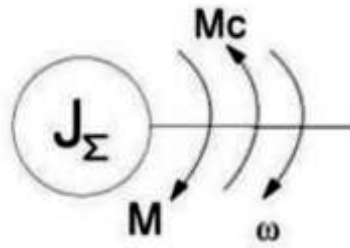


Рисунок 2.3 – Загальний момент інерції трубопроводу та двигуна

Для здійснення механічного з'єднання між насосом та електродвигуном використовується пружна втулково-пальцева муфта. Необхідно вибрати її за максимальним моментом, що розвивається електроприводом, згідно з наступним рівнянням:

$$M_{\text{ЕП}} \leq M_{\text{М}}; \quad (2.6)$$

Момент електроприводу визначається за формулою:

$$M_{\text{ЕП}} \leq k \cdot M_{\text{М}}; \quad (2.7)$$

де: k – коефіцієнт перевантаження.

Номінальний момент електродвигуна визначається за формулою:

$$M_{\text{Н}} \leq \frac{P_{\text{Н}}}{\omega_{\text{Н}}}; \quad (2.8)$$

де: $P_{\text{Н}}$ – номінальна потужність електроприводу, Вт;

$\omega_{\text{Н}}$, – номінальна швидкість електродвигуна, рад / с.

$$M_{\text{Н}} = \frac{40000}{151,8} = 2634 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Номінальна кутова швидкість визначається за формулою:

$$\omega_{\text{Н}} \leq \frac{\pi \cdot n_{\text{Н}}}{30}; \quad (2.9)$$

де: $n_{\text{Н}}$ – номінальна швидкість електродвигуна, об/хв.

$$\omega_{\text{Н}} = \frac{3,14 \cdot 1450}{30} = 151,8 \text{ рад / с}.$$

Тоді згідно з формулою (2.7) визначимо момент електроприводу:

$$M_{\text{зП}} = 1,25 \cdot 2634 = 3293,7 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Вибираємо з каталогу муфту типу МУВП 4000 з номінальним крутним моментом $M_H=2635$ Н·м та швидкістю обертання $n_H=1450$ об/хв.

Розрахуємо загальний момент інерції на валу за формулою:

$$J_{\Sigma} \leq J_{ДВ} + J_{ТМ}; \quad (2.10)$$

де: $J_{ДВ}$ – момент інерції двигуна;

$J_{ТМ}$ – момент інерції турбомеханізму.

Момент інерції робочого колеса насоса визначається за формулою:

$$J_{ТМ} = k \cdot \pi \cdot h \cdot \rho_{СТ} \cdot R^4; \quad (2.11)$$

де: h – товщина сталі робочого колеса насоса;

$\rho_{СТ}$ – щільність сталі;

R – радіус робочого колеса насоса, м.

$$J_{ТМ} = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,003 \cdot 7,8 \cdot 10^3 \cdot 0,27^4 = 1,17 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Тоді згідно з формулою (2.10) визначимо загальний момент інерції на валу:

$$J_{\Sigma} = 7 + 1,17 = 8,17 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Далі слід розрахувати та побудувати механічну характеристику обраного асинхронного двигуна. Під механічною характеристикою прийнято розуміти залежність частоти обертання ротора у функції електромагнітного моменту $n = f(M)$.

Номінальне ковзання визначається за формулою:

$$S_H = \frac{n_1 \cdot n_H}{n_1}; \quad (2.12)$$

де: n_1 – синхронна частота обертання ротора двигуна, об/хв;

n_H – номінальна частота обертання двигуна, об/хв.

$$S_H = \frac{1500 \cdot 1450}{1500} = 0,03.$$

Критичне ковзання визначається за формулою:

$$S_{КР} = S_H \cdot \left(\lambda_{ДВ} + \sqrt{\lambda_{ДВ}^2 - 1} \right); \quad (2.13)$$

де: $\lambda_{ДВ}$ – перевантажувальна здатність двигуна.

$$S_{кр} = 0,03 \cdot \left(2 + \sqrt{2^2 - 1}\right) = 0,12.$$

Критичний момент двигуна визначається за формулою:

$$M_{кр} = \lambda_{дв} \cdot M_H; \quad (2.14)$$

де: M_H – номінальний момент двигуна, Н·м.

$$M_{кр} = 2 \cdot 2634 = 5269 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Отже, ми визначили основні точки характеристики, але для її побудови їх недостатньо.

Моменти інших значень ковзань визначаються за формулою Клосса:

$$M = \frac{2 \cdot M_{кр}}{\frac{S}{S_{кр}} + \frac{S_{кр}}{S}}; \quad (2.15)$$

де: $S_{кр}$ – критичне ковзання двигуна;

S – поточне ковзання, що відповідає поточному моменту в точці.

Таблиця 2.3 – Результати розрахунків моментів та частоти обертання

S	O	S_H	$S_{кр}$	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
M, Н·м	0	6643	15121	14121	14961	11011	9337	8043	7037	6241	5600	5474
N, об/хв	1000	960	827	800	700	600	500	400	300	200	100	0

За отриманими даними у програмному середовищі Matlab Simulink були побудовані механічні характеристики приводного двигуна на рисунку 2.4

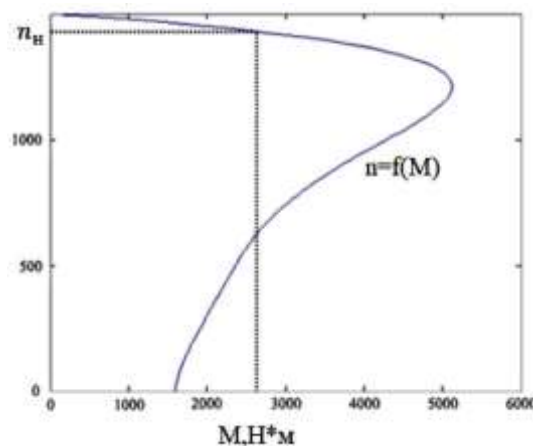


Рисунок 2.4 – Залежність частоти обертів від моменту двигуна $n=f(M)$

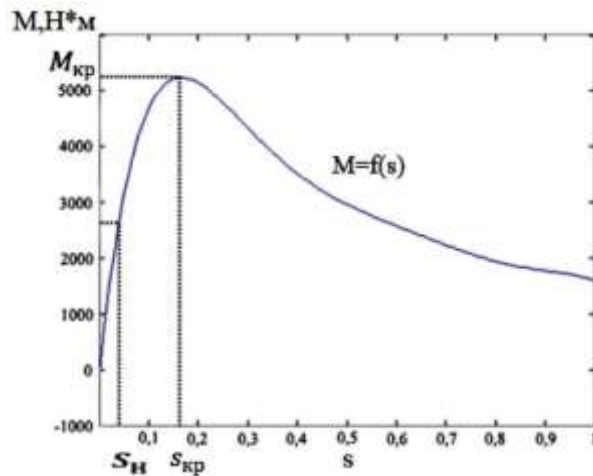


Рисунок 2.5 – Залежність моменту від ковзання двигуна $M=f(s)$

Виходячи з добового споживання води, було побудовано графік витрати води щодо часу доби на рисунку 2.6.

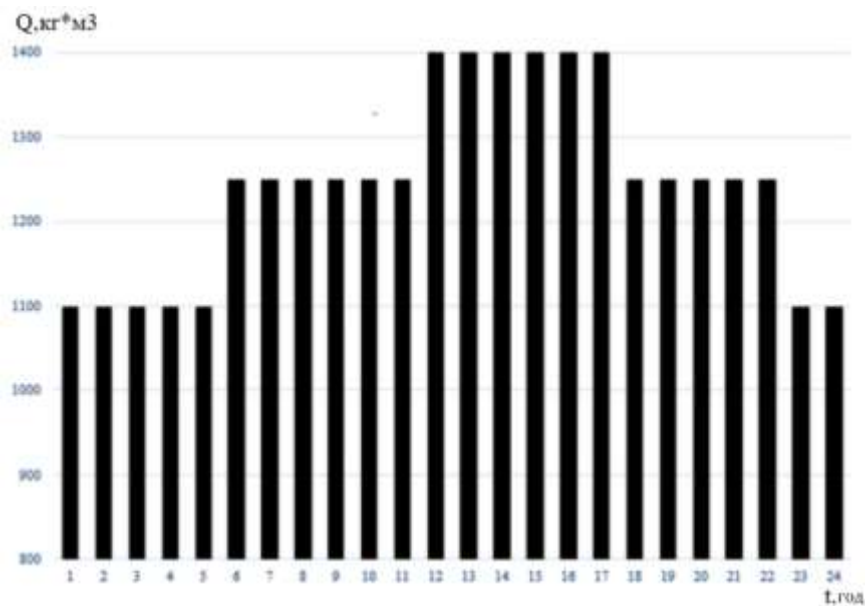


Рисунок 2.6 – Добова витрата кількості води

Виходячи з побудованої характеристики, можна зробити висновок, що значення витрати не перевищує споживання одного насоса, отже, можливе керування одним насосом за підтримки заданого тиску системи.

Необхідно передбачити керування насосів при більшій витраті системи. У цьому випадку буде недостатньо подачі води одного насоса і за допомогою перетворювача частоти необхідно забезпечити частотно – каскадне керування насосних агрегатів, при якому ПЧ керує лише одним насосом, а запуск та

зупинка інших здійснює за необхідності керування частоти обертання насоса [4].

2.4 Розрахунок основних параметрів об'єкта керування

Конструктивний коефіцієнт визначається за формулою:

$$C_1 = 1 + \frac{L_s^1}{L_m}; \quad (2.16)$$

де: L_s^1 – величина наведеної індуктивності розсіювання статора, Гн;

L_m – величина індуктивності контуру намагнічування, Гн.

Задаємося значенням коефіцієнта в діапазоні 1,02-1,05.

Механічні втрати визначаються за формулою: [11]

$$\Delta P_{\text{ТЕХ}} = P_H \cdot \left(\frac{1}{\eta_H} - 1 \right) \cdot \frac{1}{6}; \quad (2.17)$$

$$\Delta P_{\text{ТЕХ}} = 400000 \cdot \left(\frac{1}{0,945} - 1 \right) \cdot \frac{1}{6} = 7017 \text{ Вт.}$$

Коефіцієнт в'язкого тертя визначається за формулою:

$$M = \frac{\Delta P_{\text{ТЕХ}}}{\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot \Pi_H}{60} \right)}; \quad (2.18)$$

де: $\Delta P_{\text{ТЕХ}}$ – механічні втрати, Вт;

Π_H – номінальна частота обертання двигуна, об/хв.

$$M = \frac{7017}{\left(\frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1400}{60} \right)} = 0,16.$$

Опір ротора визначається за формулою:

$$R_r = \frac{1 \cdot (P_H + P_{\text{ТЕХ}}) \cdot T_{\Pi}}{3 \cdot \left(\frac{1 - S_H}{S_H} \right) \cdot I_H^2}; \quad (2.19)$$

де: T_{Π} – кратність пускового моменту;

S_H – номінальне ковзання.

$$R_r = \frac{1 \cdot (400000 \cdot 7017) \cdot 1,2}{3 \cdot \left(\frac{1 - 0,003}{0,003} \right) \cdot 707^2} = 0,011 \text{ Ом.}$$

Розмір активного опору статора визначається за формулою:

$$R_s = \frac{1}{2} \cdot \frac{U_H^2 \cdot \cos \varphi \cdot (1 - \eta_H)}{I_H} - \frac{C_1^2 \cdot R_r \cdot \Delta P_{\text{ТЕХ}}}{3 \cdot I_H^2}; \quad (2.20)$$

де: U_H – номінальна напруга двигуна, В;

$\cos \varphi$ – коефіцієнт потужності двигуна;

I_H – номінальний струм двигуна, А;

η_H – номінальний ККД.

$$R_s = \frac{1 \cdot 380 \cdot 0,91 \cdot (1 - 0,945)}{706} = \frac{1,2^2 \cdot 0,0093 \cdot 7017}{3 \cdot 706^2} = 0,0147 \text{ Ом.}$$

Розмір індуктивності статора та наведеної індуктивності ротора визначається за формулою:

$$L_s = L_r = \frac{U_H}{2 \cdot \pi \cdot f_H \cdot I_H \cdot \sqrt{\cos \varphi} - \frac{4 \cdot \pi \cdot f_H \cdot M_{\text{КР}} \cdot S_H}{3 \cdot P \cdot U_H \cdot S_k}}; \quad (2.21)$$

де: p – число пар полюсів;

$M_{\text{КР}}$ – критичний момент двигуна, Н·м.

$$L_s = L_r = \frac{380}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 706 \cdot \sqrt{0,91}} - \frac{4 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 5269 \cdot 0,03}{6 \cdot 380 \cdot 0,12} = 0,0041 \text{ Гн.}$$

Розмір наведеної індуктивності розсіювання статора і ротора визначається за формулою:

$$L_s^1 = L_r^1 = \frac{U_H}{4 \cdot \pi \cdot f_H \cdot (1 + C_1)^2 \cdot i_{\text{П}} \cdot I_H}; \quad (2.22)$$

де: f_H – номінальна частота мережі, Гц;

$i_{\text{П}}$ – коефіцієнт пускового струму.

$$L_s^1 = L_r^1 = \frac{380}{4 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot (1 + 1,02)^2 \cdot 6,5 \cdot 706} = 0,0064 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

Розмір індуктивності контуру намагнічування визначається за формулою:

$$L_T = L_S - L_S^1; \quad (2.23)$$

де: L_S – індуктивність статора, Гн;

L_S^1 – індуктивність розсіювання статора, Гн.

$$L_T = 0,0041 - 0,0064 \cdot 10^{-3} = 0,004 \text{ Гн.}$$

Потужність, активного опору обмотки статора, визначається за формулою:

$$P_{\text{ЕЛ}} = 3 \cdot U_H - I_H \cdot \cos \varphi \cdot (1 - \eta_H) - 3 \cdot I_H \cdot R_r \cdot C_1^2 - \Delta P_{\text{ТЕХ}} = 3 \cdot I_H^2 \cdot R_S; \quad (2.24)$$

де: R_S – активний опір статора.

$$P_{\text{ЕЛ}} = 3 \cdot 706^2 \cdot 0,0147 = 21981 \text{ Вт.}$$

Втратами у феромагнітному сердечнику, а також додатковими втратами в двигуні можна знехтувати.

Згідно з формулою 2.16 визначимо конструктивний коефіцієнт:

$$C_1 = 1 + \frac{0,064 \cdot 10^{-3}}{4,03 \cdot 10^{-3}} = 1,02.$$

За розрахованими параметрами схеми заміщення асинхронного двигуна можна зробити висновок, що отримані значення наближені до реальних.

2.5 Розробка раціональної системи керування

Існує безліч рішень на цю тему, але з часом деякі втрачають свою ефективність, а інші стають енерговитратними [3].

Однією з основних завдань даної роботи є розробка раціональної системи керування процесів НР.

В електричних насосних станціях застосовуються два основних типи керування – частотне та каскадне керування.

Каскадне керування досягається шляхом запуску та зупинки паралельно встановлених насосів. Від збільшення кількості насосів залежить економічність та швидкодія СК.

Частотне керування забезпечується за рахунок зміни частоти обертання насосів за допомогою перетворювача частоти. Це сприяє збільшенню ефективності роботи за рахунок оптимізації роботи насосів у режимі неповної продуктивності. Ще однією особливістю цього способу керування є запобігання появі гідроударів, що, у свою чергу, збільшує енергоресурс даної системи.

В даний час існує можливість одночасного застосування каскадного та частотного керування, тим самим це дозволяє суттєво знизити електроспоживання до 50%, а також підвищити якість та надійність роботи обладнання станції [4].

Використання каскадно - частотного керування, у якому ПЧ керує лише одним насосом, а запуск і зупинка інших здійснює за необхідності. Система має простоту і надійність, а також мінімальну кількість обладнання в системі керування.

Даному способу притаманні деякі недоліки:

- поява гідроударів при пуску та зупиненні додаткових насосів;
- поява в електромережі кидків напруги, пов'язаних із перехідними процесами при пуску двигунів;
- неможливість підтримки точного тиску в системі, флуктуації тиску при вмиканні або вимиканні додаткових насосів.

Звісно, вплив описаних недоліків можна знизити. Щоб уникнути гідроударів і кидків напруги, можна застосовувати пристрої плавного пуску, проте це економічно доцільно лише за відносно великих потужностей двигунів. Якість керування тиску можна поліпшити за допомогою ускладнення алгоритму керування, реалізованого обчислювачем цієї системи. Однак ці заходи пов'язані з додатковими фінансовими витратами, що нівелює привабливість самої ідеї. Даних недоліків позбавлений такий спосіб керування,

коли при неможливості забезпечити необхідну в даний момент продуктивність СК одним насосом, в роботу вмикається наступний, при цьому перший насосний двигун перемикається безпосередньо на мережу, а вступає в роботу – виводиться на робочу частоту під керуванням перетворювача частоти заданої користувачем кривої розгону.

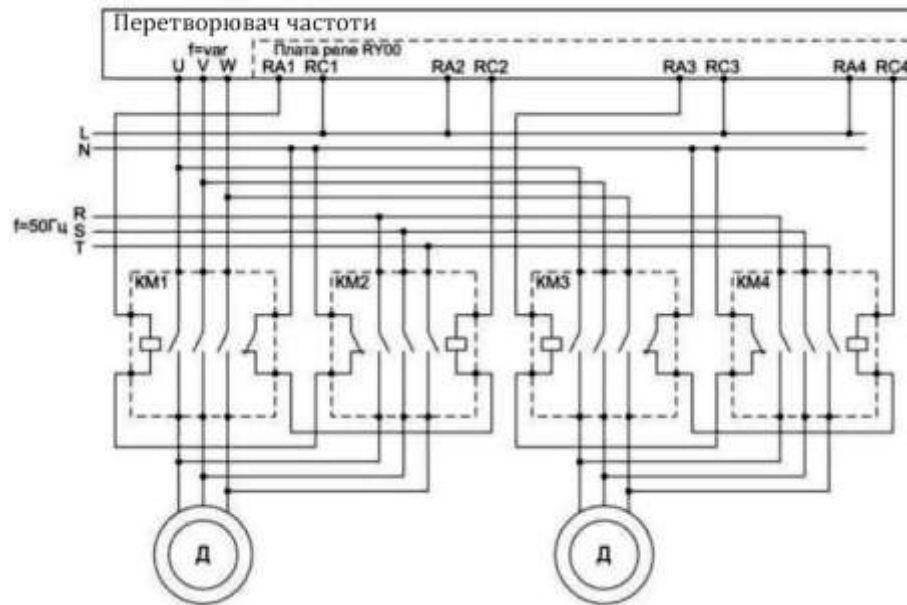


Рисунок 2.7 – Схема керування насосною станцією

VDF-F – перетворювач частоти; RY00 – плата релейних виходів; Д – трифазний асинхронний електродвигун насосів; KM1-KM4 – контактори

Каскадне керування насосами призначене для точного керування витрати води або підтримання заданого тиску на насосній станції. Це найбільш просто реалізується за допомогою частотних перетворювачів.

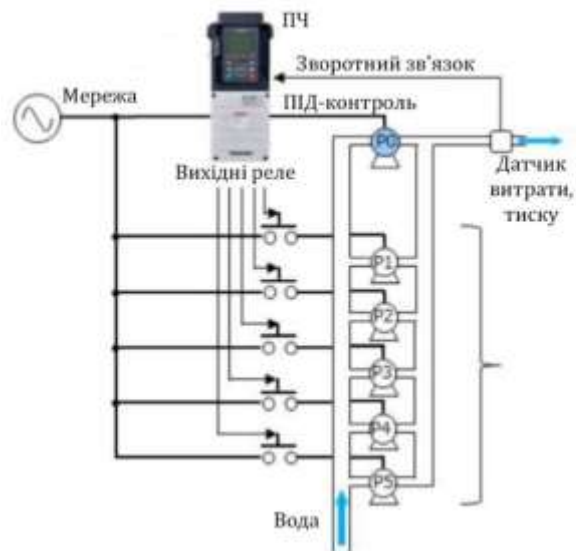


Рисунок 2.8 – Каскадне вмикання насосів за допомогою перетворювача частоти

Операція насосом P0 за допомогою інвертора та вмикання/вимикання додаткових 9 насосів, ввімкнених до комерційної мережі живлення (параметр [A200] = 1).

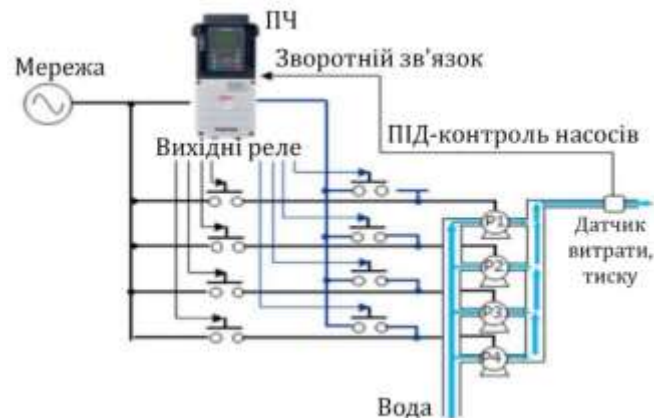


Рисунок 2.9 – Каскадне регулювання насосів за допомогою перетворювача частоти

Регулює роботу до чотирьох насосів одним інвертором. Вмикання та вимикання додаткових насосів за допомогою перемикання їх режиму роботи інвертор/комерційна мережа живлення (параметр [A200] = 2).

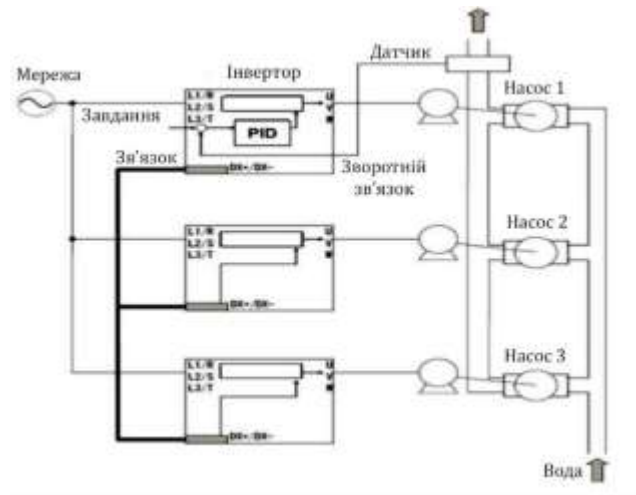


Рисунок 2.10 – Каскадне керування насосами за допомогою перетворювачів частоти

Регулює роботу за допомогою одного ПІД-регулятора до 10 насосів, ввімкнених до відповідного інвертора (для кожного насоса). Вмикання/виминня додаткових насосів через зв'язок RS485 (параметр [A200] = 7).



Рисунок 2.11 – Клеми для керування роботою 4-х насосів за допомогою частотника

Керування до чотирьох насосів можливе за допомогою трьох вбудованих вихідних реле (клеми: FLA-FLB-FLC, R1A-R1B, R2A-R2B). Цей режим керування доступний для параметра [A200] = 1 або 2. Для точної підтримки завдання вмикається один ПІД-регулятор.

Керування до 10 насосів можливе за допомогою трьох вбудованих вихідних реле (клеми: FLA-FLB-FLC, R1A-R1B, R2A-R2B) та вмикання 2-х

опцій «ETB014Z» (кожна додає по 3 вихідні реле). Для точного підтримання завдання вмикається один ПД-регулятор.

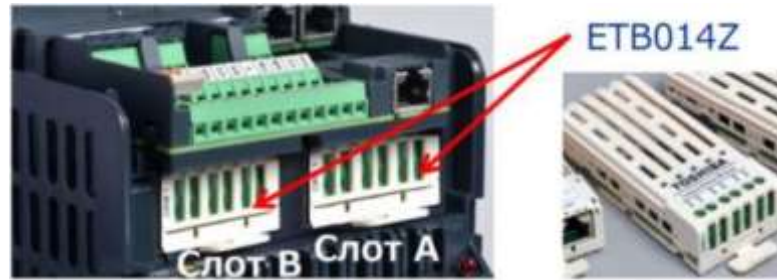


Рисунок 2.12 – Клеми для керування роботою 10 насосів за допомогою частотника

У режим каскадного вмикання та вимикання до 10 насосів з регулюванням першого насоса кожен насос може вмикатися до мережі живлення та вимикатися від неї через магнітний контактор, який керується релейним вихідним сигналом інвертора. Точне керування витрати/тиску здійснюється за допомогою насоса P0. Вмикання або вимикання інших насосів для збільшення або зменшення витрат/тиску відбувається за мірою необхідності [7].



Рисунок 2.13 – Каскадне вмикання та вимикання насосів за допомогою перетворювача частоти



Рисунок 2.14 – Ілюстрація каскадного вмикання та вимикання насосів

2.6 Вибір перетворювача частоти

В даний час більшість перетворювачів частоти з автономним інвертором напруги (АІН) використовуються для роботи в режимі широтної імпульсної модуляції (ШІМ), оскільки вони здатні забезпечити широкі та надширокі діапазони керування швидкості двигуна та граничні динамічні показники. Виберемо схему АІН з ШІМ як оптимальну.

На підставі технічних умов на розробку та номінальних даних двигуна вибираємо ПЧ відповідно до умови:

$$I_{н.пр} \geq I_{н.дв.}; \quad (2.25)$$

де: $I_{н.пр}$ – номінальний струм перетворювача, А;

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

$$U_{н.пр} \geq U_{н.дв.}; \quad (2.26)$$

де: $U_{н.пр}$ – номінальна напруга перетворювача, В;

$U_{н.дв.}$ – номінальна напруга двигуна, В.

$$I_{н.пр} = \frac{P_n}{3 \cdot U_{\phi n} \cdot \eta_n \cdot \cos \varphi}; \quad (2.27)$$

де: $U_{\phi n}$ – фазна напруга трифазної мережі, В;

η_n – номінальний ККД двигуна.

$$I_{н.пр} = \frac{400000}{3 \cdot 220 \cdot 0,945 \cdot 0,91} = 770 \text{ А.}$$

Можливість каскадного керування двома насосами реалізується за схемою один основний, другий – резервний.

Нашим умовам відповідає ПЛ фірми Delta Electronics моделі VFD4000CP43C-21.

Таблиця 2.4 – Технічні параметри перетворювача

Серія	VFD-CP
1	2
Потужність, кВт	400
Напруга живлення, В	380
Фазність	3
Частота мережі, Гц	50/60
Вихідна частота, Гц	400
Вихідний безперервний струм, А	770
Струм протягом 1 хвилини, А	900

Продовження таблиці 2.4

1	2
Перевантаження, % протягом 1 хвилини:	110 (LD) / 120 (ND)
Ступінь захисту	IP20
Час розгону, с	0,01-600
Час гальмування, с	0,01-6000
Аналоговий вхід, кількість	4
Дискретний вхід	11
Аналоговий вихід,	3
Дискретний вихід,	Імпульсний - 1
Релейний вихід,	7
Пусковий момент	150% або вище
Регулятор	ПІД
Робоча температура, °С	-10...+50

Для стабілізації тиску в системі водообігу на цукровому заводі необхідно забезпечувати плавний розгін, гальмування та керування частотою обертання двигуна насоса під впливом збурюючих впливів. До складу обраного перетворювача частоти моделі VFD4000CP43C-21 відносять елементи силового обладнання:

- струмообмежувальний реактор, головна функція якого є обмежувати швидкість наростання, розміри струму КЗ та струму в тиристорах при комутації, зменшувати взаємний вплив перетворювачів, що працюють від загальної мережі;

- випрямляч, головна функція перетворити вхідний змінний електричний струм в постійний вихідний електричний струм;

- гальмівний резистор, головна функція якого полягає в перетворенні надмірної електричної енергії в теплову. Встановлюється у ланку постійного струму. У складі обраного перетворювача вбудований гальмівний резистор BR1K5W012 з наступними параметрами: гальмівний момент 50,8 кг й струм гальмування 450 А [4].

У якості паралельного регулятора напруги виступає модуль гальмування. Принцип дії: IGBT транзистор модуля гальмування і конденсатор розряджається через цей транзистор і опір R_T у разі перевищення напруги певного рівня. На опорі виділяється певна кількість тепла. Режим широтно-імпульсної модуляції є притаманним для транзистора модуля гальмування, рівень напруги на конденсаторі визначає час відкритого стану транзистора. Діє пропорційна залежність: чим більше напруга перевищує максимально допустиму, тим більше часу відкритого стану. Для механізмів з високим моментом інерції необхідно застосовувати зовнішні гальмівні резистори.

- критерієм вибору мережевого дроселя є розрахунковий вхідний струм перетворювача частоти. Головним завданням мережевого дроселя є зменшити кидки струмів, а також захистити перетворювач від перенаперуг. Дільником напруги при перенарузі виступає повний опір мережевих дроселів.

– RC-снаббер, головною задачею якого є мінімізувати перевищення напруг, перенапруг та захистити будь які пошкодження IGBT. Висока швидкість комутації IGBT призводить до швидкого зростання U_a .

2.7 Розробка функціональної схеми САК електроприводу

Для подальшого проектування системи водообігу на цукровому заводі потрібно спроектувати функціональну схему частотного керування електроприводами насосів, що в свою чергу буде підтримувати стабільний тиск у системі. Основними критеріями до розроблюваної системи є простота у реалізації, оптимальні енерговитрати та економічність при впровадженні. Поряд з цим, необхідно звернути увагу на високу точність керування моментом та швидкістю двигуна. Таким критеріям відповідає скалярний метод керування електроприводами насосів.

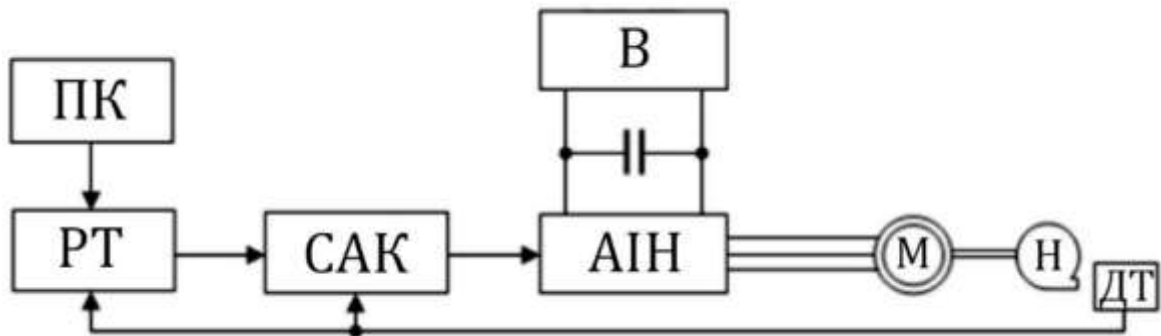


Рисунок 2.15 – Функціональна схема керування електроприводом насоса
 ПК – пульт керування; РТ – регулятор тиску; САК – система автоматичного керування; В – випрямляч; АІН – автономний інвертор напруги;
 М – асинхронний двигун; Н – відцентровий насос; ДТ – датчик тиску

Для побудови кривих напору, моменту та швидкості насосів необхідно провести розрахунок параметрів структурної схеми. Об'єкт керування та регулятор є основними складовими САК. В свою чергу основними складовими об'єкту керування є електродвигун, перетворювач енергії, і робочий орган, а саме відцентровий насос, з'єднаного з валом двигуна через муфту.

Перетворювач частоти має вбудований П-, ПІ- або ПІД-регулятор, параметри яких розраховуються, а потім задаються вручну в програмі. Лінійну частину механічної характеристики асинхронного двигуна можливо представити у вигляді наступної формули [4]:

$$T_E = \frac{dM}{dt} + M = \beta \cdot (w_0 - w); \quad (2.28)$$

де: T_E – електромагнітна стала часу, с;

β – жорсткість статичної характеристики АД.

Об'єкт керування змінної витрати води щодо різниці напору на вході та виході трубопроводу представимо рівнянням:

$$H = H_0 \cdot \left(\frac{w}{w_H} \right)^2 - C \cdot Q^2; \quad (2.29)$$

де: H_0 – натиск при закритій засувці, м;

C – коефіцієнт витрати;

Q – витрата рідини, м³/г.

Перетворимо рівняння різниці тисків, прийнявши витрату води за нульове значення.

$$H = H - H_0 \cdot \left(\frac{w}{w_H} \right)^2; \quad (2.30)$$

Блок перетворення напору реалізований згідно з V/F кривою, поточного значення напору та витрати, побудованої за методом налаштування чотирьох точок, у програмному середовищі Excel.

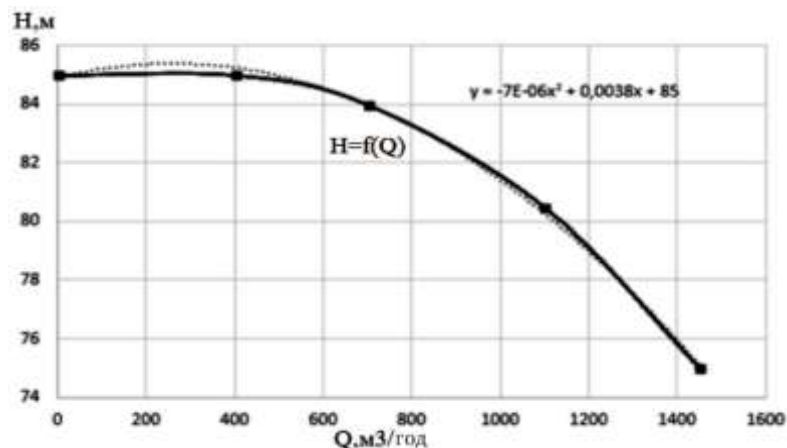


Рисунок 2.16 – Крива напору насоса від необхідної витрати води

Підставивши в рівняння 2.30 апроксимуюче рівняння, що вийшло в Excel:

$$\Delta H = 85 - (-7 \cdot 10^{-6} \cdot Q^2 + 0,0038Q + 85); \quad (2.31)$$

де: Q – поточна витрата рідини у системі, м³/год.

Перетворивши рівняння різниці тисків, отримаємо вираз:

$$\Delta H = 7 \cdot 10^{-6} \cdot Q^2 + 0,0038Q.$$

Отримане рівняння напору рідини в системі будемо використовувати при створенні моделі насоса Matlab і отриманні перехідних характеристик.

Після перетворення механічної частини електроприводу отримуємо одномасову систему керування рухом електроприводу:

$$M = M_0 \cdot \left(\frac{w}{w_H} \right)^2; \quad (2.32)$$

де: M_0 – момент, що розвивається двигуном при нульовій витраті, Н·м.

Побудуємо характеристику моменту опору на валу відцентрового механізму без урахування додаткових втрат на тертя у програмному середовищі Excel. Стабілізація тиску при змінній витраті здійснюється за рахунок керування частоти двигуна:

$$W = W_0 \cdot (1 - S) = \left(\frac{2 \cdot \pi \cdot f_1}{P} \right) \cdot (1 - S); \quad (2.33)$$

При моделюванні математичної моделі у програмному середовищі Matlab будемо використовувати функцію полінома, отриману на даній характеристиці.

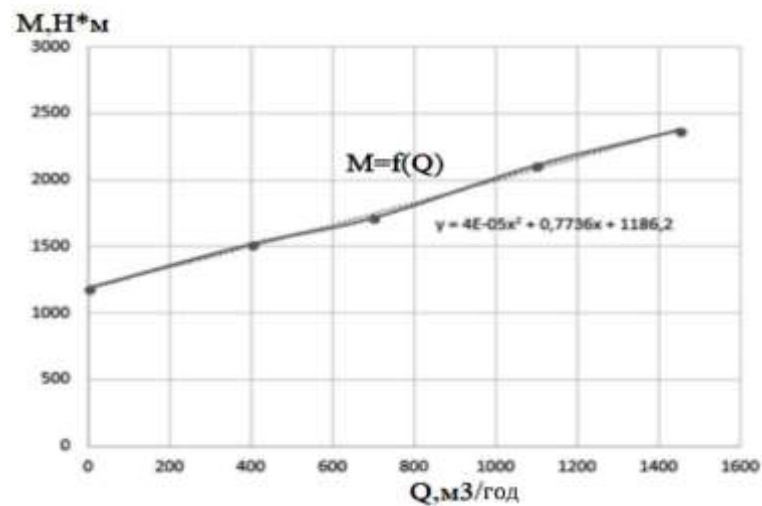


Рисунок 2.17 – Крива моменту насоса від необхідної витрати води

У блоці PID контролера реалізована модель регулятора тиску, а також підводиться зворотний зв'язок по натиску, що порівнюється із заданою величиною [7].

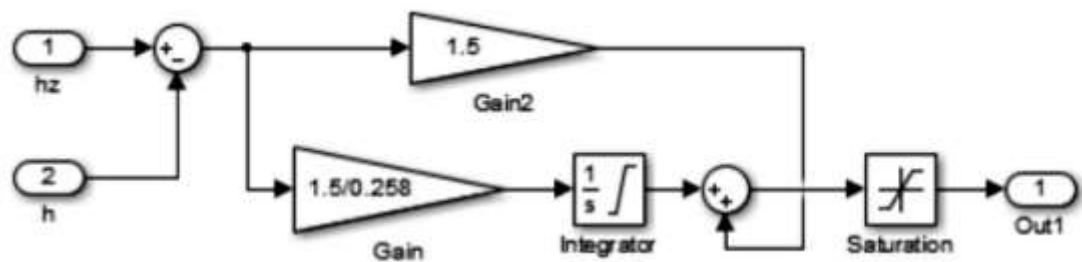


Рисунок 2.18 – Модель регулятора тиску

Блок SPWM здійснює керування силовими транзисторами за допомогою програмованого генератора опорної напруги.

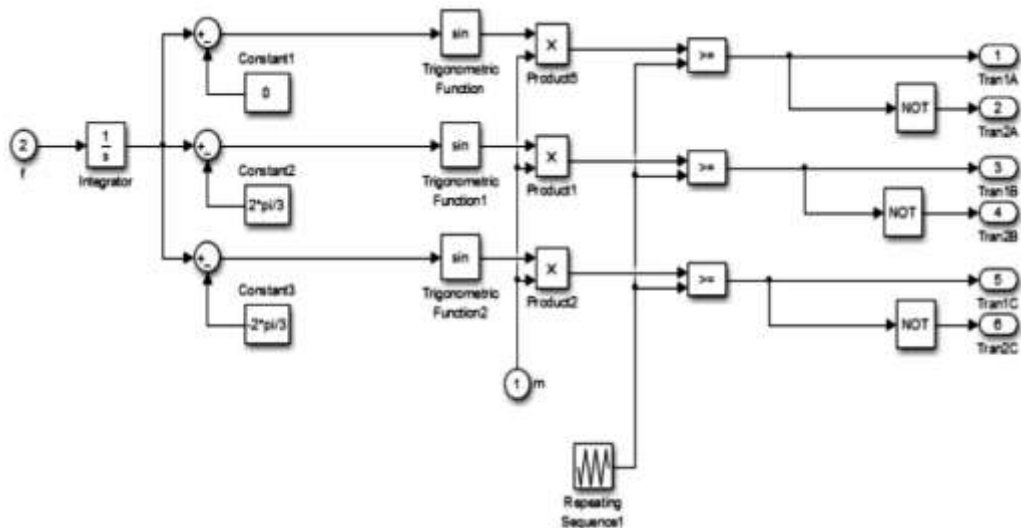


Рисунок 2.19 – Модель керування ШІМ

У даній моделі вхідними сигналами є коефіцієнт модуляції ШІМ m рівний 1, що означає видачу номінальної фазної напруги при швидкості $\omega = 314$ ($f = 50$ Гц) і частота вихідної напруги інвертора f .

Побудовано модель насоса за допомогою математичних блоків бібліотеки Simulink [11].

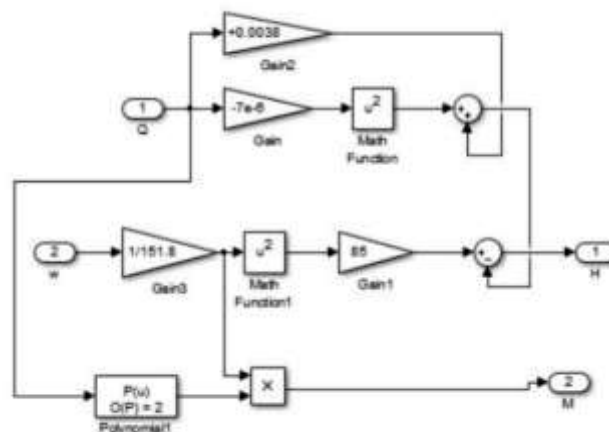


Рисунок 2.20 – Модель насоса

Керуючий пристрій передбачає ПІ-регулятор тиску з функцією передавання:

$$W_P = k_p + \frac{k_p}{T_i \cdot P}; \quad (2.34)$$

де: k_p – коефіцієнт посилення регулятора;

T_i – постійна часу інтегратора регулятора тиску.

Коефіцієнт посилення розраховується за формулою:

$$k_{KP} = \frac{H_H}{f_H}; \quad (2.35)$$

де: H_H – номінальний напір насоса;

f_H – номінальна частота електродвигуна.

$$k_p = \frac{75}{50} = 1,5.$$

Електромагнітна постійна часу визначається за формулою:

$$T_E = \frac{1}{w_0 \cdot S_k}; \quad (2.36)$$

де: w_0 – швидкість двигуна на холостому ході;

S_k – критичне ковзання.

$$T_E = \frac{1}{157 \cdot 0,12} = 0,053 \text{ с.}$$

Електромеханічна постійна часу розраховується за формулою:

$$T_C = \frac{J_\Sigma}{\beta_C}; \quad (2.37)$$

де: J_Σ – сумарний момент інерції;

β_C – коефіцієнт жорсткості механічної характеристики.

Коефіцієнт жорсткості механічної характеристики визначається за формулою:

$$\beta_C = \frac{M_H - M_{\min}}{w_H - w_{\min}}; \quad (2.38)$$

де: M_{\min} – момент, що розвивається двигуном при нульовій витраті води;

w_{\min} – швидкість двигуна, що відповідає мінімальному моменту двигуна

$$\beta_C = \frac{2634 - 1185}{151,8 - 115} = 39,55.$$

Потрібно визначити електромеханічну постійну часу:

$$T_C = \frac{8,17}{39,35} = 0,2 \text{ с.}$$

Знаючи електромагнітну постійну часу та електромеханічну постійну часу, розрахуємо час інтегрування системи за формулою:

$$T_i = T_E + T_C; \quad (2.39)$$

$$T_i = 0,053 + 0,2 = 0,253 \text{ с.}$$

Для синтезу регулятора тиску лінеаризуємо об'єкт за формулою:

$$H_i = k_H \cdot W; \quad (2.40)$$

де: k_H – коефіцієнт передачі насоса.

Коефіцієнт передачі насоса:

$$k_H = \frac{H_0}{W_H}; \quad (2.41)$$

$$k_H = \frac{75}{151,8} = 0,49.$$

Коефіцієнт зворотного зв'язку по натиску розраховуємо за формулою:

$$k_{OC} = \frac{U_3}{H_{\max}}; \quad (2.42)$$

де: U_3 – напруга завдання;

H_{\max} – максимальний напір у мережі.

Після розрахунку параметрів системи керування отримані результати необхідно підставити в змодельовану структурну схему і отримати перехідні процеси [12].

2.8 Розрахунок перехідних процесів та визначення показників якості

Перехідними відрізками в роботі приводу можна назвати пуск та вплив збурюючих впливів (зміна витрати). Для цих режимів необхідно провести моделювання роботи. Пусковим вважається відрізок від нуля до номінального натиску в системі водообігу на цукровому заводі. На графіках бачимо стабілізацію тиску від нуля до номінальної величини. За результатами проведених досліджень отримали динаміку основних параметрів системи: струм двигуна, швидкість, момент, тиск, статичний момент, витрати води. Для

отриманні показників цих параметрів необхідно змоделювати запуск електропривода насоса та розгін його швидкості до номінальної. Результати моделювання представимо на рисунках 2.21-2.22.

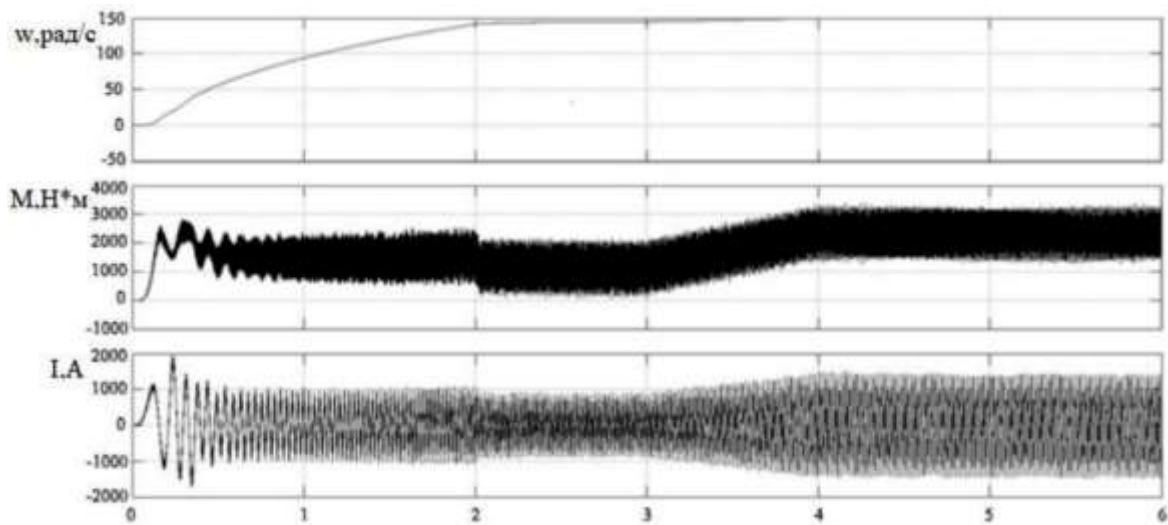


Рисунок 2.21 – Графік перехідного процесу швидкості, струму та моменту електроприводу

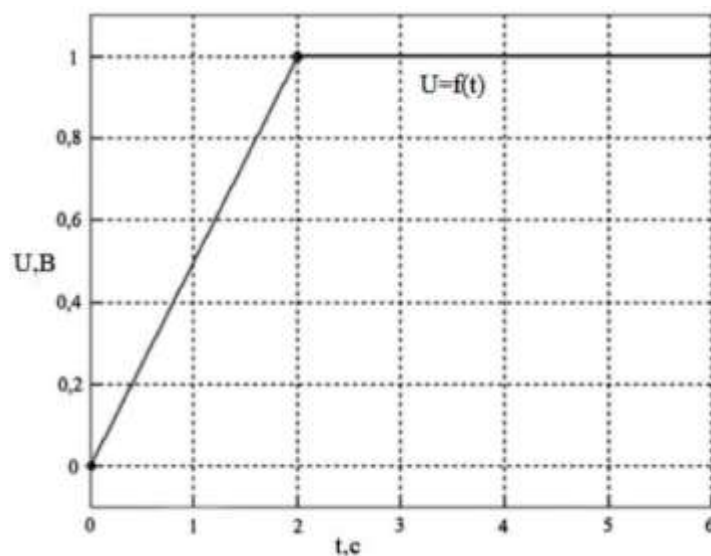


Рисунок 2.22 – Вхідний сигнал напруги

На підставі графіка перехідного процесу швидкості, струму та моменту приводу, робимо висновок, що перехідні процеси при пуску протікають без значних коливань та відхилень регульованої величини від заданого значення. Процес пуску відбувається із приблизно постійним прискоренням.

Стабілізація тиску при зміні витрати відбувається без різких стрибків та коливань. Згідно з графіком, можна зробити висновок, що підтримка тиску в системі керування здійснюється, при зміні витрат кількості води.

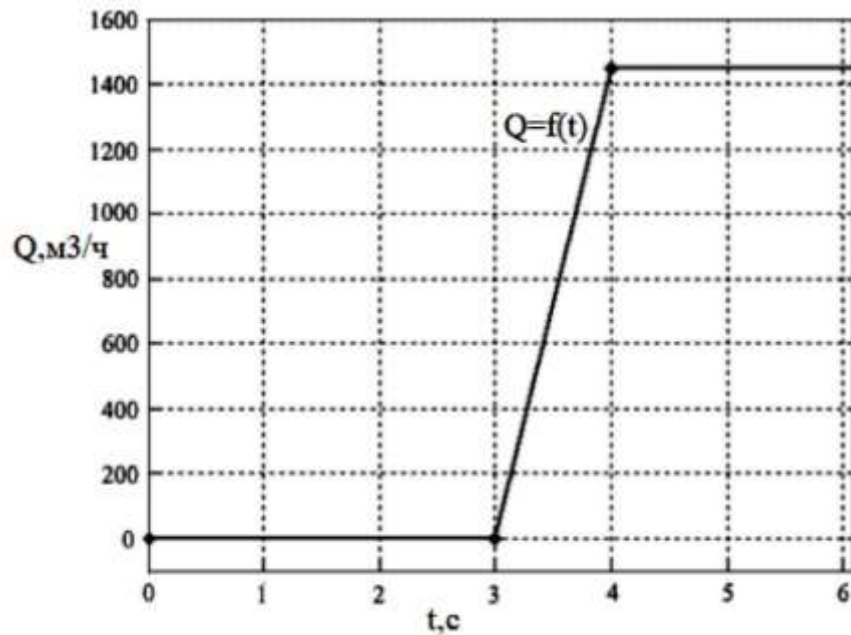


Рисунок 2.23 – Графік витрат води через водопровідну мережу

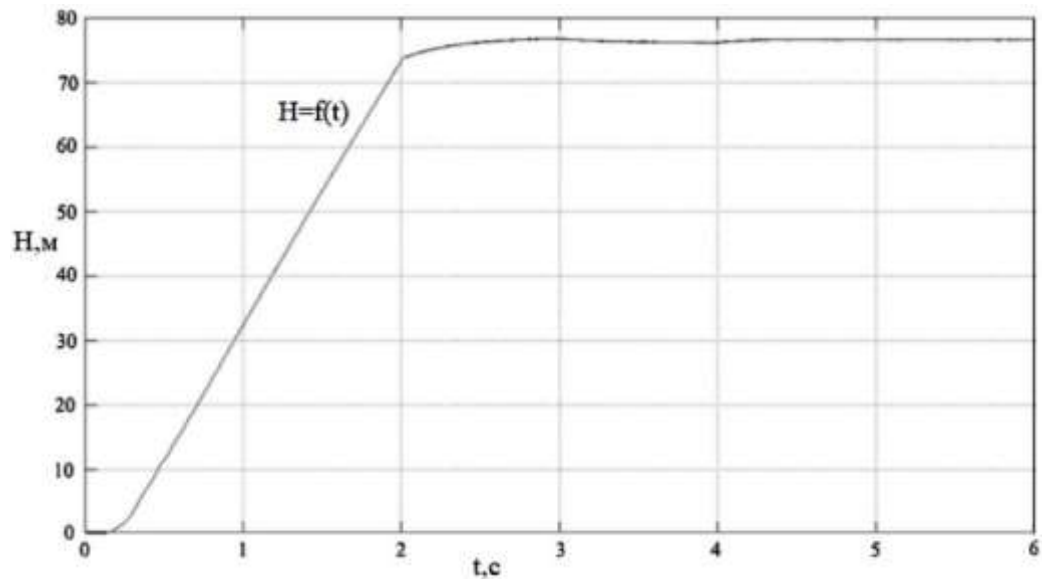


Рисунок 2.24 – Графік перехідного процесу напору

Виходячи з графіка натиску, робимо висновок, що в початковий момент часу тиск відсутній і дорівнює нулю. Після закінчення двох секунд часу тиск досягає позначки в 75 метрів і залишається на цьому рівні. Дві секунди витримки часу говорять про час запуску двигуна [14].

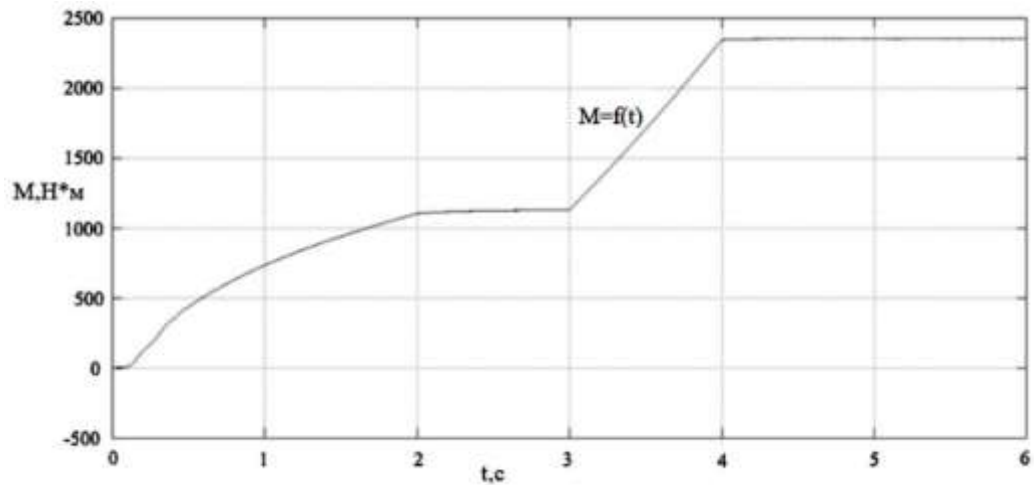


Рисунок 2.25 – Графік статичного моменту приводу

Висновок за розділом

Відповідно до вимог сучасного електропривода розрахували та підібрали двигун. Виконали аналіз кінематичної схеми електропривода та визначили її параметри. Дослідили сучасні рішення керування електроприводом та розробили раціональну систему керування для системи водообігу на цукровому заводі. Для розробленої системи склали функціональну та структурні схеми. Виконали розрахунок перехідних процесів та визначення показників якості.

РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ВОДООБІГУ НА ЦУКРОВОМУ ЗАВОДІ

3.1 Розробка функціональної схеми автоматизації водообігу на цукровому заводі

Система водообігу на цукровому заводі має досить розгалужену структуру. Вода на технологічні потреби цукрового заводу може надходити від таких джерел: артезіанська вода, водопроводна вода та оборотна вода після охолодження в градирнях. Вода незалежно від джерела походження зберігається в ємностях Є1-Є3.

Артезіанська вода за допомогою електропривода насосу М1, що керується ПЧ1, надходить до ємності Є1. При досягненні нижнього рівня артезіанської води в ємності Є-1 спрацьовує датчик ЛТ 1-1, що подає сигнал на ПЛК через модуль розширення про потребу вмикання електропривода насосу М2. Насос накачує воду до ємності Є-1 до спрацювання датчика верхнього рівня ЛТ 1-2, що подає сигнал на ПЛК через модуль розширення про зупинку насоса.

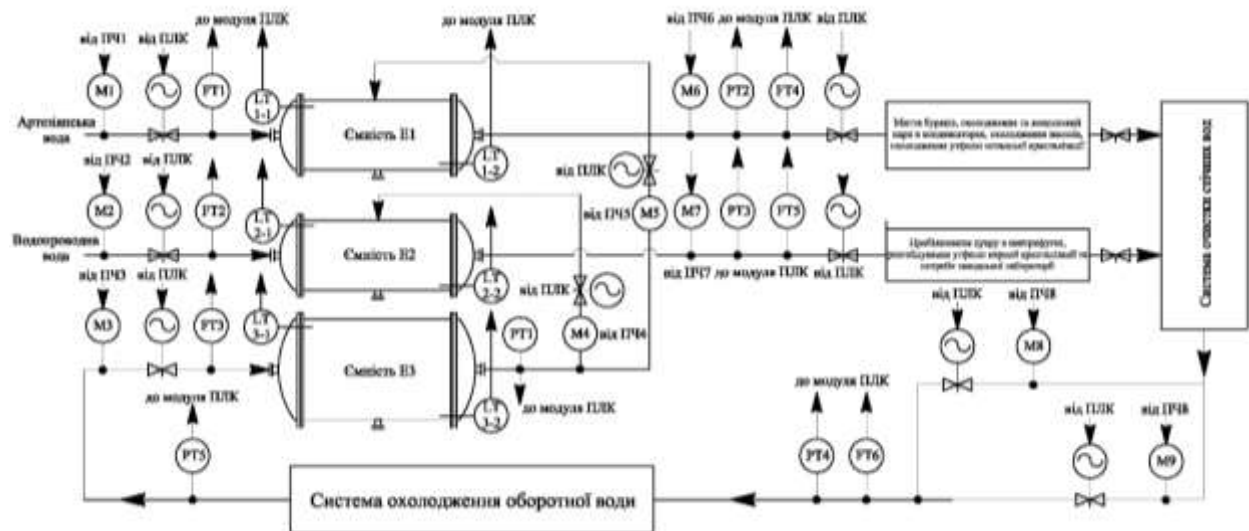


Рисунок 3.1 – Функціональна схема системи водообігу на цукровому заводі

Водопроводна вода за допомогою електропривода насосу М2, що керується ПЧ2, надходить до ємності Є2. При досягненні нижнього рівня водопроводної води в ємності Є-2 спрацьовує датчик ЛТ 2-1, що подає сигнал на ПЛК через модуль розширення про потребу вмикання електропривода

насосу М2. Насос накачує воду до ємності Є-2 до спрацювання датчика верхнього рівня ЛТ 2-2, що подає сигнал на ПЛК через модуль розширення про зупинку насоса М2.

Оборотна вода за допомогою електропривода насосу М3, що регулюється ПЧЗ, надходить до ємності Є3. При досягненні нижнього рівня оборотної води в ємності Є-3 спрацьовує датчик ЛТ 3-1, що подає сигнал на ПЛК через модуль розширення про потребу вмикання електропривода насосу М3. Насос накачує воду до ємності Є-3 до спрацювання датчика верхнього рівня ЛТ 3-2, що подає сигнал на ПЛК через модуль розширення про зупинку насоса М3.

Особливістю замкнутої системи оборотного водопостачання є виключення скидання оборотної води із системи, а для стабілізації зростання солевмісту, збору в оборотній воді інших забруднень частина води виводиться із системи та піддається спеціальній обробці, наприклад знесолюванню або фільтрації, після чого ця частина води знову прямує в обігову систему. Великим резервом економії свіжої води на промислових підприємствах є застосування замість водяного охолодження повітряного, і навіть інших методів. Застосування на промисловому підприємстві систем із послідовним використанням води, особливо замкнутих оборотних систем водопостачання, дозволяє раціонально використовувати воду у виробництві, знизити витрати свіжої води та кількості стічних вод. Тому електроприводами насосів М4 та М5 оборотна вода надходить до ємностей Є-2 та Є-3 відповідно.

З ємності Є-1 за допомогою електропривода насоса М6 вода надходить для миття буряків, охолодження та конденсації пари в конденсаторах, охолодження насосів, охолодження утфелю останньої кристалізації. Контур оснащений датчиком тиску РТ-2 та витратоміром FT-4.

З ємності Є-2 за допомогою електропривода насоса М7 вода надходить для пробілювання цукру в центрифугах, розгойдування утфелю першої кристалізації та потреби заводської лабораторії. Контур оснащений датчик тиску РТ-3 та витратоміром FT-5.

Відпрацьована вода надходить у вигляді стічних вод до системи очистки. Схема очищення стічних вод діленням їх на 3 категорії малоефективна, більше того – завдає значної шкоди навколишньому середовищу, що може спричинити істотні штрафи.

На сьогоднішній день найбільш поширеним методом очищення стічних вод цукрового виробництва є очищення із застосуванням метанреактора. Підвищення якості очищення транспортерно-мийної води з виведенням сухого осаду $CV \geq 50\%$ за допомогою механічного зневоднення осаду з радіального відстійника (далі РВ) розглядається як попередній ступінь перед біологічною очисткою суспензії осаду, що відводиться після РВ. Біологічне очищення двоступінчасте: перша ступінь – анаеробний метанреактор з наступним доочищенням в анаеробних умовах.

Сучасною технологією очистки стічних вод на цукровому заводі є технологія IBR (Immobilized Biofilm Reactor) – реактор з прикріпленою біоплівкою, відноситься до способів очищення стічних вод мікрофлорою біоплівки, прикріпленої до інертного нерухомого носія, поміщеного в резервуар (реактор). Технологія IBR застосовується за такою схемою.

Первинне очищення:

- механічне зневоднення осаду з контуру транспортерно-мийних вод з використанням центрифуг;
- механічне очищення на решітках з відмиванням та ущільненням затриманих викидів;
- відстоювання стічних вод із застосуванням реагентів;

вторинне очищення:

- біореактор з прикріпленою мікрофлорою I ступеня з реалізацією анаеробних процесів очищення;

- біореактор з прикріпленою мікрофлорою II ступеня;

третинне очищення:

- фільтрація на безнапірних фільтрах із синтетичним завантаженням;
- фільтрація на напірних фільтрах з рейтингом 100 мкм;

- знезараження стічних вод ультрафіолетовим випромінюванням;

обробка осаду:

- механічне зневоднення опадів з використанням центрифуг.

Після очистки стічних вод оборотна вода за допомогою електроприводів насосів М8 та М9 надходить на систему її охолодження (градирні).

Градирні застосовуються, як правило, у системах оборотного водопостачання для глибокого та стійкого охолодження води при високих теплових та питомих гідравлічних навантаженнях.

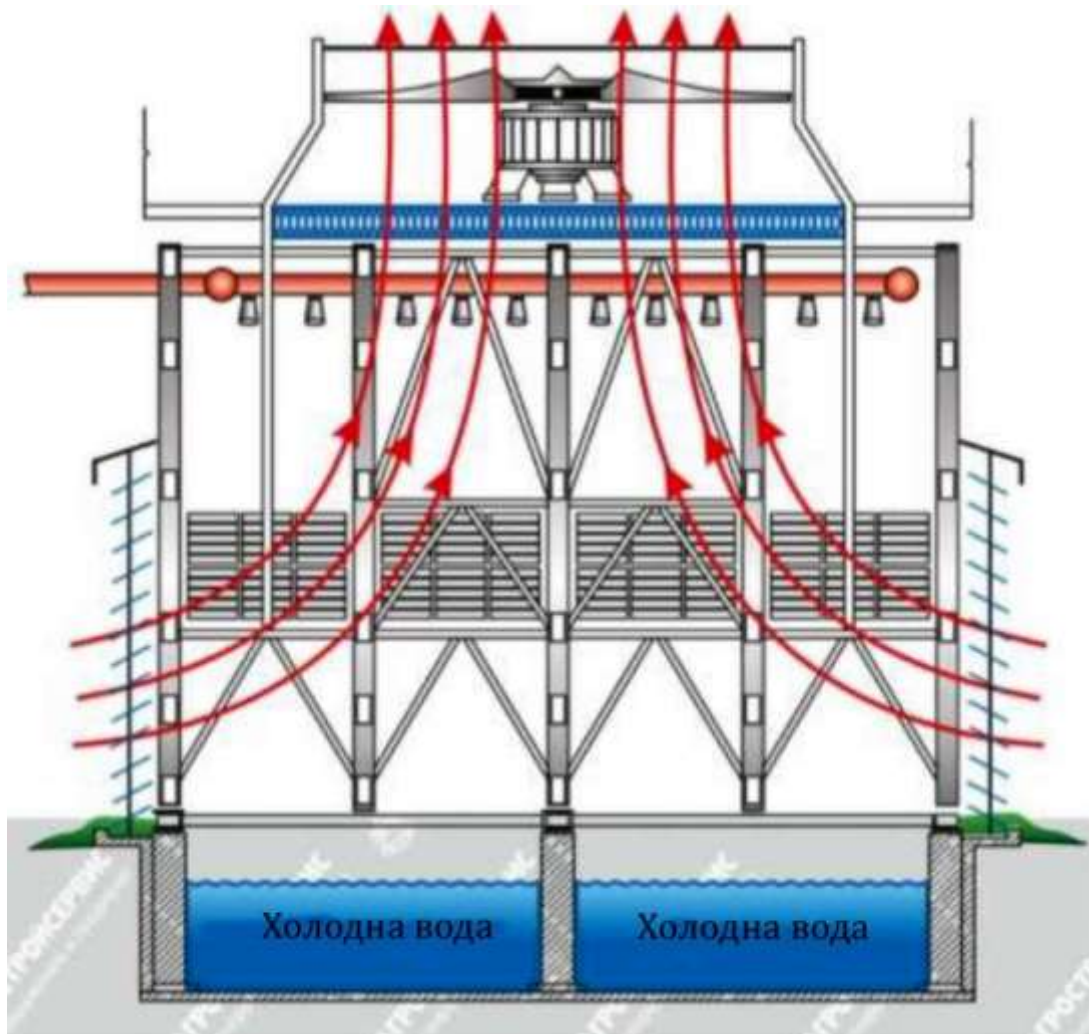


Рисунок 3.2 – Принцип роботи градирні

Для економії на електроенергії, що споживається електродвигуном, градирню потрібно оснастити локальною системою автоматичного керування (АСК). Така система забезпечує надійність роботи, виключає людський фактор і призначена для:

- дистанційного керування роботою вентилятора градирні;

- безпечного перемикання режимів вентиляторів;
- плавного пуску електродвигуна;
- забезпечення комплексного захисту електродвигунів вентиляторів;
- контролю працездатності силового електроустаткування;
- візуального контролю над параметрами функціонування устаткування;
- запуску режимів антизледеніння та сушіння електродвигунів.

3.2 Вибір засобів автоматизованої системи водообігу

Засоби автоматизації – це пристрої та прилади, що фіксують певні технічні характеристики технологічного процесу (ТП), а також передають ці дані в автоматизовані системи керування ТП.

Датчики можуть являти собою як конструктивно закінчений вузол, так і як частину глобальних контролюючих та керуючих систем. Датчики розрізняються за призначенням, за принципом дії, чутливістю, методом передачі інформації [16].

Для вимірювання кількості прокачуваної води обрали магнітно-індуктивні витратоміри SMF250, параметри якого представлено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Параметри витратоміра SMF250

Параметр	Показник
Діапазон вимірювання	2.5...300 л/хв
Середовище	електропровідні рідини; вода; водне середовище
Температура технологічного середовища	-20...150
Номінальний тиск	40

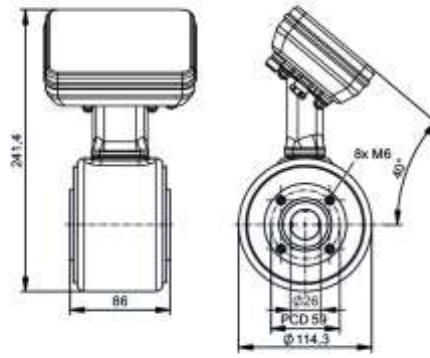


Рисунок 3.3 – Витратомір SMF250

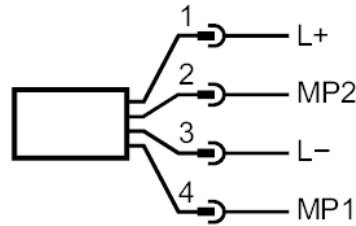


Рисунок 3.4 – Схема вмикання витратоміра SMF250

Для вимірювання максимального та мінімального рівня води в ємностях Є1-Є3 вибираємо гідростатичний занурювальний перетворювач тиску PS3407, параметри якого представлено в таблиці 3.2 [17].

Таблиця 3.2 – Параметри перетворювача тиску PS3407

Параметр	Показник
Кількість входів та виходів	1
Середовище	Рідини
Температура технологічного середовища	-20...50
Робоча напруга	10...30 DC
Аналоговий вихід струму	4...20

Переваги використання гідростатичного занурювального перетворювача тиску PS3407:

- недороге, просте вимірювання рівня;
- компенсація тиску відбувається за допомогою спеціального кабелю з вбудованою по всій довжині компенсаційною трубкою;
- спрощена схема вмикання завдяки двопровідній струмовій петлі;
- висока загальна точність і довготривала стабільність;

- міцний корпус із нержавіючої сталі з високим ступенем захисту.

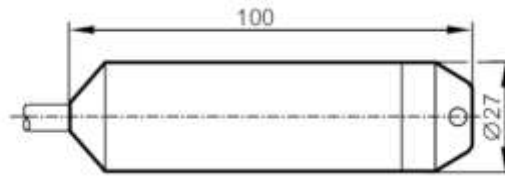


Рисунок 3.5 – Гідростатичний занурювальний перетворювач тиску PS3407

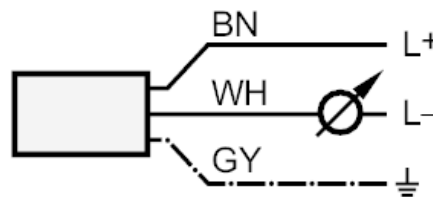


Рисунок 3.6 – Схема вмикання гідростатичного занурювального перетворювача тиску PS3407

Для керування засобами автоматизація вибираємо програмований логічний контролер AC424S [18].

Таблиця 3.3 – Параметри ПЛК AC424S

Позначення продукції	AS-i EtherNet/IP шлюз із безпечною попередньою обробкою
Робоча напруга DC	18...32 V
Тип напруги	DC
Застосування	шлюз EtherNet/IP з безпечною попередньою обробкою
Матеріал	алюміній із порошковим покриттям; сталевий лист оцинкований; PC
Дисплей	Функція: 1 x LED червоний/зелений; Графічний РК-дисплей
Ступінь захисту	IP 20
Температура навколишнього середовища	0...45 °C
Відповідає вимогам	text table: 'ISO 13849-1: 2015 Категорія 4, PL e IEC 61508 SIL 3'
Комунікаційний інтерфейс	Ethernet
Бренд	ifm electronic gmbh або еквівалент

Переваги:

- із вбудованим інтерфейсом польової шини та безпечним ПЛК;
- надійний і швидкий обмін даними з рівнем приводу датчика;
- кольоровий дисплей для відображення стану всіх AS-і ведених пристроїв;
- зручна і проста для користувача конфігурація, налаштування та діагностика.

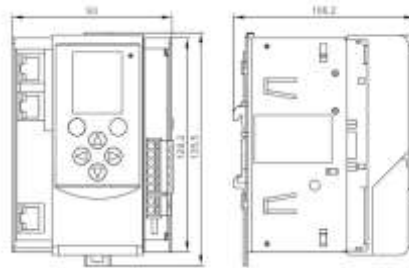


Рисунок 3.7 – Гідростатичний занурювальний перетворювач тиску PS3407

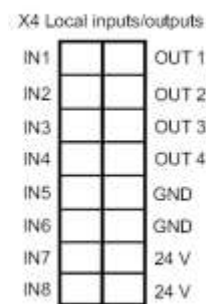


Рисунок 3.8 – Схема вмикання гідростатичного занурювального перетворювача тиску PS3407

3.3 Вибір елементів схеми керування електроприводами оборотної води

3.3.1 Вибір контакторів

Вмикання або вимикання двигуна насоса до ПЧ, а також безпосередньо до мережі здійснюється за допомогою контакторів.

Контактори AF750 застосовуються для керування трифазних електродвигунів та силових ланцюгів до 400 В. Вибрані контактори мають блокову конструкцію з трьома основними полюсами:

- котушка керування АС/DC з електронним керуванням, із досить широким діапазоном застосування;
- функція витримки зникнення напруги та надійна робота при просіданнях напруги керування;
- вбудований обмежувач перенапруги. Контактори АF750 оснащені входами низької напруги для керування за допомогою перетворювачів частоти.

На даний двигун $U = 380 \text{ В}$, $I = 706$, $P = 400 \text{ кВт}$ вибирається контактор фірми АВВ типу АF750-30-11 для потужних двигунів [23].

Таблиця 3.4 – Технічні параметри контактора фірми АВВ

Тип	АF750-30-11
Номінальна напруга, В	380
Номінальна потужність, кВт	400
Номінальний струм, А	750
Максимальний струм, А	1050

3.3.2 Захист плавкими запобіжниками

Для захисту внутрішніх ланцюгів перетворювача в кожен фазу між джерелом напруги живлення і перетворювачем повинні бути встановлені швидкодіючі запобіжники, що використовуються для захисту напівпровідникових діодів. Відповідно до UL: UL 508, струм швидкодіючого запобіжника повинен бути 1,6-2,6 кратним до вхідного струму перетворювача частоти.

У комплект перетворювача частоти входять швидкодіючі запобіжники виробника компанії Bussmann, марки КТУ-1500 [22].

Таблиця 3.5 – Технічні параметри запобіжника марки КТУ-1500

Модель перетворювача	VFD4000CP43C-21
Вхідний струм при легкому навантаженні	750
Вхідний струм при нормальному навантаженні	625
Номінальний струм запобіжника	1500

3.3.3 Вибір датчиків тиску

Від точності показань датчиків тиску залежить підтримка виробничого процесу в заданому діапазоні, а також не менш важлива його безпека. Крім вимірювання абсолютного чи надлишкового тиску, датчики тиску визначають диференціальне рівняння, вимірюють рівень та витрату рідини. Як датчик зворотного зв'язку по тиску вибираємо датчик Danfoss MBS 1900 [15].

Таблиця 3.6 – Технічні дані датчика тиску Danfoss MBS 1900

Тип вимірюваного тиску	Абсолютний/відносний
Діапазон вимірювання, бар	0 - 16
Робоча температура, °C	-40 ~ +125
Перевантаження тиску, %	250
Вихідний сигнал, мА	4 ~ 20
Напруга живлення, В	24V DC
Сумарна похибка, %	1
Час спрацьовування, м / с	0,5
Приєднання тиску	G 1/2, G 1/4 з прокладкою
Маса, кг	0,15
Ступінь захисту	IP65

Дія перетворювачів тиску вимірювальних MBS заснована на врівноважуванні вимірюваного тиску силою пружної деформації первинного п'єзорезистивного перетворювача. Під впливом вимірюваного тиску вимірювальна мембрана деформується та змінює електричний опір в одному з плечей вимірювального моста.

Застосування Danfoss забезпечує підвищення ефективності та зменшення експлуатаційних витрат. Сенсори тиску серії MBS 1900 побудовані на базі п'єзорезистивної технології перетворення. Це вважається найбільш надійним та ефективним рішенням для вимірювання тиску, особливо в таких системах, де спостерігається висока амплітуда та частота пульсацій тиску.

3.3.4 Характеристика реле тиску

Як реле тиску, призначеного для поточного контролю тиску в системі, аварійної сигналізації, у нашому випадку, виступає сам ПЧ. У разі відхилення від заданого тиску слід замикання або розмикання електричного ланцюга. Якщо тиск у системі зменшується, і частота обертання одного двигуна стає недостатньою, то ПЧ подає дискретний сигнал на замикання контактів контактора, тим самим вмикає додатковий електродвигун насоса. У тому випадку, коли тиск у системі стає вищим за заданий, частота робочого насоса знижується, і, надалі, ПЧ подає дискретний сигнал на розмикання контактів контактора, тим самим вимикає і виводить із системи резервний насос, продовжуючи керувати робочим, до заданого тиску в системі [12].

Висновки за розділом

Розробили контури автоматизації для системи водообігу на цукровому заводі. Для кожного контуру підбрали засоби автоматизації. Описали алгоритмічні шляхи технологічного процесу водообігу на цукровому заводі.

РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ОХОЛОДЖЕННЯМ ОБОРОТНОЇ ВОДИ

4.1 Розробка функціональної схеми водооборотної системи охолодження цукрового заводу

У загальному випадку водооборотні системи, що застосовуються у гірничодобувній, нафтопереробній, скляній, хімічній промисловості, машинобудуванні, металургії та інших галузях, включають (рис. 4.1):

- промислових споживачів, які використовують оборотну воду для охолодження машин, апаратів та робочих середовищ;
- насосні станції із системою водопідготовки для забезпечення циркуляції води в системі;
- охолоджувальні установки (градирні) [13].

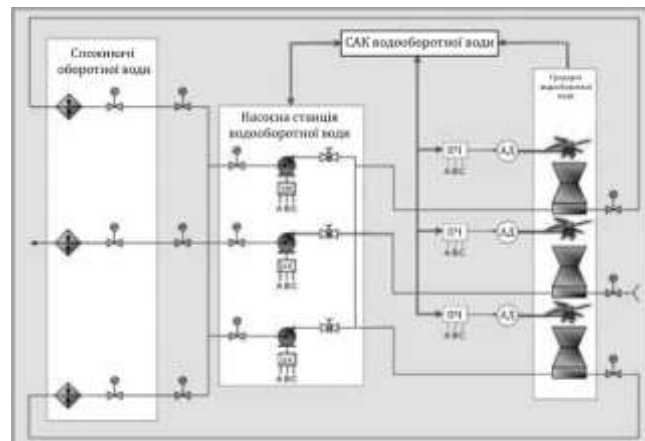


Рисунок 4.1 – Функціональна схема водооборотної системи

АД – асинхронний двигун; ПЧ – перетворювач частоти; ШКК – шафа контакторного керування

Для підвищення ефективності технологічного процесу охолодження води та забезпечення енергозбереження у періоди зниженого навантаження на охолоджувальні установки доцільно впровадження автоматизованих систем керування технологічними процесами (АСК ТП) водооборотних циклів. Автоматизація технологічного процесу охолодження води може бути:

- частковою (з функціями частотного керування, моніторингу та дистанційного керування);
- повною (автоматичне керування та керування без безпосередньої участі людини).
- часткова автоматизація технологічного процесу, що передбачає використання програмованого логічного контролера, забезпечує:
 - реалізацію функції збору даних;
 - вироблення керуючих впливів;
 - підтримання оптимального режиму з метою мінімізації енергетичних витрат на експлуатацію основного енергоспоживання (насоси, вентилятори);
 - діагностику та прогнозування несправностей теплотехнічної та електромеханічної частин системи [1].

Для візуалізації технологічного процесу використовуються SCADA-системи з функціями діагностики стану обладнання та технологічного процесу, що допомагає своєчасно здійснювати профілактичні ремонти та заміну обладнання, знижувати ризик виникнення нештатних та аварійних режимів роботи та підвищувати надійність системи.

Повна автоматизація технологічного процесу охолодження води передбачає:

- комплекс заходів щодо переоснащення обладнання технологічного процесу пристроями захисту та/або діагностики;
- заміну існуючих виконавчих механізмів та КВП на нові, які дозволяють проводити моніторинг, діагностику та керування в реальному часі без участі людини [5].

Основною ланкою в такій системі теж є програмований логічний контролер, пов'язаний з верхнім рівнем системи та забезпечує:

- автоматичне керування всіма технологічними процесами;
- передачу виміряних значень фізичних величин на АРМ диспетчерів АСК ТП;
- захист та блокування обладнання та виконавчих механізмів;

– попереджувальну та аварійну сигналізацію.

Збір даних та архівування параметрів процесу відбувається на сервері збору даних, розташованому в операторному об'єкті. Сервер збору даних має надмірні обчислювальні потужності та ресурси інформаційних накопичувачів та дозволяє зберігати параметри технологічного процесу протягом декількох років [9].

Повна автоматизація технологічного процесу пов'язана з реалізацією функцій регулювання, моніторингу, діагностики та керування. Вона дозволяє не тільки досягти високих показників ефективності виробництва охолодженої води та знизити витрати електроенергії, а й збільшити термін служби обладнання та підвищити безпеку технологічного процесу.

4.2 Апаратні засоби автоматизації градирні на цукровому заводі

Розглянемо проект автоматизованої градирні на цукровому заводі, яка має продуктивність 1000 л/год та до її складу входять три секції площиною 144м². Відповідна градирня призначена для охолодження оборотної промислової води до $t_o = 25^{\circ}\text{C}$, що має початкову температуру в діапазоні $t_r = 30...40^{\circ}\text{C}$ в результаті технологічного алгоритму виробництва цукру (збурюючі впливи). Нагріватись до таких температур призводять наступні фактори: очищення та промивка буряків; охолодження компресорних установок, насосів, ТЕЦ. Також до другорядних факторів можна віднести перепади температури вхідної води, температура навколишнього середовища, атмосферний тиск.

Чотири параметри визначають основу процесу охолодження оборотної води на цукровому заводі:

- 1) перепад температур гарячої та охолодженої води на цукровому заводі $\Delta t_{го}$ ($\Delta t_{го} = 2. \dots 12^{\circ}\text{C}$),
- 2) температури навколишнього повітря на цукровому заводі $t_{п}$ ($t_{п} = 5 \dots 35^{\circ}\text{C}$);

3) вологість навколишнього середовища на цукровому заводі β ($\beta = 50 \dots 100\%$);

4) витрата рідини Q на цукровому заводі.

В процесі охолодження води її стабільна температура залежить одночасно від багатьох параметрів, що змінюються одночасно, та впливають на швидкість обертання вентилятора ω . Виходячі з цього, необхідно дотримуватись наступних умов:

- інформація від датчиків повинна отримуватись та оброблятися з дискретністю до 1 хвилини;

- з урахуванням збурюючих впливів повинна бути обчислена оптимальна швидкість обертання вентилятора градирні за наступною формулою:

$$\omega_{\text{зад}} = f \cdot (\Delta t_{\text{го}} \cdot t_{\text{п}} \cdot \beta \cdot Q); \quad (4.1)$$

- з урахуванням зворотної стабілізуючої дії скоригувати її до необхідної вхідної температури охолодженої води $t_0 = 25^\circ\text{C}$.

Два процеси визначають охолодження води в градирні на цукровому заводі [2]:

- 1) передача тепла між падаючими розпиленими краплями гарячої води та зустрічним потоком повітря, температура якого відповідає умовам навколишнього середовища;

- 2) випаровування, що супроводжується фазовим переходом води у пароподібний стан, що здійснюється за умов її масового розбризкування та примусової вентиляції.

Для виконання основного завдання стабілізації температури охолодженої води САК градирні повинна виконувати такі функції:

- точність завдання блоку розрахунку необхідної швидкості обертання електропривода вентилятора, що повинен діяти при всіх можливих збурюючих впливах;

– контур зворотного зв'язку за температурою, що визначає корекцію поточної швидкості обертання електропривода вентилятора під дією збурюючих факторів [13].

З урахуванням вищенаведених вимог на рисунку 4.2 представимо функціональну схему автоматизованого керування технологічним процесом охолодження води у вентиляторній градирні на цукровому заводі.

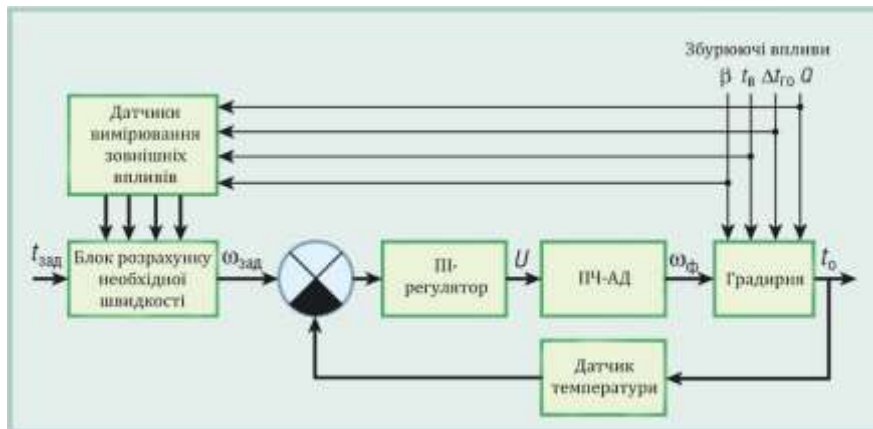


Рисунок 4.2 – Функціональна схема автоматизації вентиляторної градирні

t – температура охоложеної води, задана і фактична; $\omega_{\text{зад}}$ – швидкість обертання електроприводу вентилятора, задана та фактична відповідно; $\Delta t_{\text{го}}$ – перепад температур гарячої/охоложеної води; $t_{\text{п}}$ – температура навколишнього повітря; β – вологість навколишнього повітря; Q – подача насоса; U – напруга живлення; ПЧ-АД – система частотно-регульованого електроприводу «перетворювач частоти – асинхронний двигун»

Перетворювач частоти для асинхронних двигунів на базі Altivar38 дозволяє реалізувати енергоекономічний закон скалярного керування швидкості електроприводу ПЧ-АД (перетворювач частоти – асинхронний двигун) з вентиляторним навантаженням $U/f^2 = \text{const}$ (U і f – величини напруги та частоти відповідно). При цьому зниження швидкості вентилятора градирні щодо номінального значення $\omega_{\text{ном}} = 180,5$ об./хв супроводжується квадратичним зниженням моменту навантаження ($M_c = k_1 \omega^2$) та кубічним зменшенням споживаної потужності ($P = k_2 \omega^3$). Це підвищує техніко-

економічну ефективність та скорочує термін окупності ПЧ та комп'ютерної системи керування до 0,5...1,5 років [1].

Другим важливим фактором, що забезпечує техніко-економічний ефект застосування частотного керування швидкості вентилятора, є стабілізація головного вихідного параметра градирні – температури охолодженої води – на рівні $t_0 = 28^\circ\text{C}$. Як правило, суворе дотримання параметрів основного технологічного процесу дозволяє підвищити продуктивність і якість продукції, що випускається. Тому програмна реалізація пропорційно-інтегрального регулятора (ПІ-Р) САК коригувального контуру зворотного зв'язку головного технологічного параметра $t_0 = \text{const}$ має велике практичне значення.

Важливе значення має підвищення надійності та довговічності роботи двигунів, редукторів та іншого механічного обладнання. Це досягається за рахунок безперервної діагностики елементів електроустаткування засобами ПЧ та промислового комп'ютера (ПК), прогнозування несправностей у фоновому режимі, формування оптимальних динамічних режимів [5].

Реалізація тахограм «м'якого» пуску, гальмування і переходу на нові швидкості при мінімальній кратності струмів АД сприятливо позначається на старінні ізоляції обмоток двигуна, його тепловому стані, а обмеження великих динамічних моментів призводить до відсутності напруг і ударів в механічних перехрестях. вентилятора). До того ж стає можливою робота вентилятора у зоні помпажу та знижується ймовірність рециркуляції повітря (затягування вологого повітря назад у повітрозабірні жалюзі градирні).

Нарешті, координація роботи всіх локальних систем технологічного процесу та обмін між ними інформацією в рамках АСК ТД другого рівня в середовищі Ethernet дозволяє оптимізувати та ініціалізувати функціонування всього виробничого процесу з єдиного диспетчерського посту, принципову схему якого показано на рисунку 4.3 [9].

Крім того, системою автоматизації виконуються такі функції:

- контроль стану апаратів у схемі керування електродвигунами вентиляторів (реле протоки масла редуктора, положення перемикача вибору керування);
- контроль температури та протоки мастила в редукторах вентиляторів з виготовленням попереджувальних сигналів та команди на вимикання вентиляторів при отриманні аварійних сигналів;
- отримання інформації від витратомірів гарячої води, що подається на градирню з насосної станції;
- отримання з насосної станції інформації від керуючого контролера та вироблення відповідної команди керування вентиляторами градирні в аварійному режимі;
- відображення інформації про перебіг технологічного процесу у формі мнемосхеми (відео-кадра) на моніторах ПК з подачею звукового (голосового) сигналу при аварійних ситуаціях;
- ведення протоколу подій з можливістю виведення на друк даних, отриманих за заданий проміжок часу (змiна, доба).

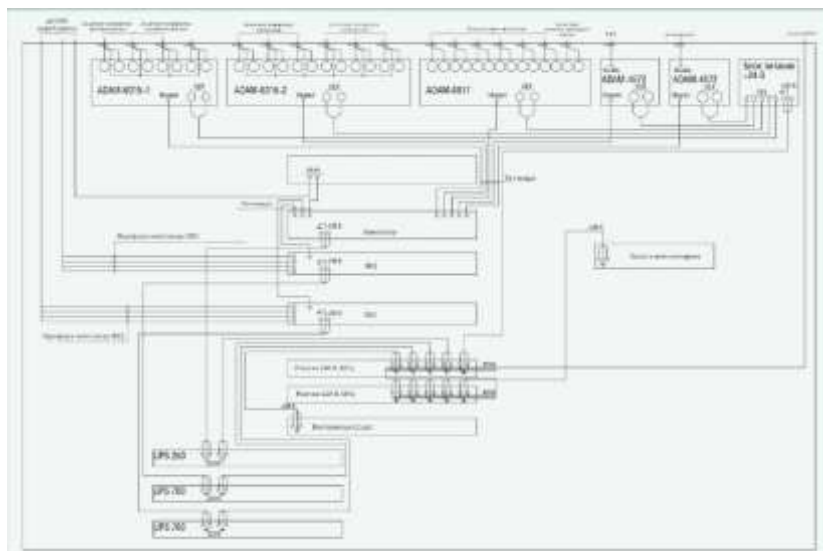


Рисунок 4.3 – Принципова схема єдиного диспетчерського посту, що координує взаємодію локальних систем АСК ТП

UPS – джерело безперебійного живлення; ПК1, ПК2 – персональні комп'ютери; А1 – перетворювач частоти; ЩК ВЕ – щит керування вентиляторним електрообладнанням

У перспективі можливе вмикання даної локальної автоматизованої системи керування АСК ТП оборотного водопостачання.

До складу апаратури аналізованої системи автоматизації входять такі прилади та пристрої:

- термоперетворювачі опору для вимірювання температури з характеристикою Pt100;
- модулі ADAM-6015 – перетворювачі аналогових сигналів від термоперетворювачів опору в цифрові дані, що передаються в ПК по локальній мережі Ethernet;
- модуль ADAM-6017 – перетворювач струмових сигналів 4...20 мА у цифрові дані, що передаються в ПК по локальній мережі Ethernet;
- модулі ADAM-4572 – шлюзи передачі даних за послідовним інтерфейсом RS-485 з протоколом ModBus від ПЧ та керуючого контролера насосної станції, що передаються на ПК по локальній мережі Ethernet;
- комутатор локальної мережі Ethernet;
- промислові комп'ютери IPC-510-SYS1-3 (2 шт.) фірми Advantech з клавіатурою та маніпулятором;
- монітори з рідкокристалічною індикацією;
- лазерний принтер формату А4;
- джерела живлення $\sim 220/ = 24$ В;
- джерела безперебійного живлення (UPS) для монтажу у стійку – SUA750RMI2U (2 шт.) та SC250RMI1U (1 шт.) компанії APC. Модулі сімейства ADAM, що застосовуються, є виробами фірми Advantech.

У проекті прийнято до встановлення два ПК, один з яких є основним, другий – резервним, який працює в режимі постійного вмикання та супроводу програми керування («гарячий» резерв).

Апаратура автоматизації, що встановлюється в приміщенні операторної, комплектується у стандартну дев'ятнадцяти-дюймову шафу TS8 фірми Rittal (рис. 4.4). У цьому ж приміщенні розміщується стіл оператора, на якому встановлюються монітори, принтер, клавіатури та маніпулятори.

Для вмикання термоперетворювачів опору передбачені кабелі типу МКЕШ, локальна мережа Ethernet виконується кабелем типу кручена пара категорії 5.



Рисунок 4.4 – Загальний вигляд шафи системи автоматизації вентиляторної градирні

4.3 Алгоритмічне та програмне забезпечення градирень на цукровому заводі

Для стабілізації температури охолодженої води на рівні $t_0 = 28^{\circ}\text{C}$ та побудови системи автоматичного регулювання швидкості обертання вентилятора градирні знайдено аналітичну модель $t_0 = f(\omega)$ процесу охолодження води в градирні з урахуванням усіх збурень. В результаті можна відтворити виводити аналітично та моделювати на комп'ютері в середовищі MatLab усі динамічні процеси градирні до реалізації алгоритмів на об'єкті [13].

У зв'язку з яскраво вираженим випадковим (стохастичним) характером збурень – метеофакторів та напору насосів – аналітичну модель можна отримати шляхом статистичної обробки великого масиву експериментальних даних. Подібні регресійні моделі, а також алгоритми керування електроприводом ПЧ-АД вентилятора та стабілізації температури охолодженої води за командами ПК можна реалізувати на основі схеми, представленої на

рисунку 4.5, та моделі перетворення сигналів у контурі САК (рис. 4.6). Для цього необхідно отримати параметри a_j лінійної моделі виду:

$$\omega_{\text{зад}} = a_1 \cdot \Delta t_{\text{го}} + a_2 \cdot \Delta t_{\text{п}} + a_3 \cdot \beta + a_4 \cdot Q + \varepsilon; \quad (4.2)$$

які визначають шляхом статистичної обробки експериментальних даних (число вимірів 50-100).

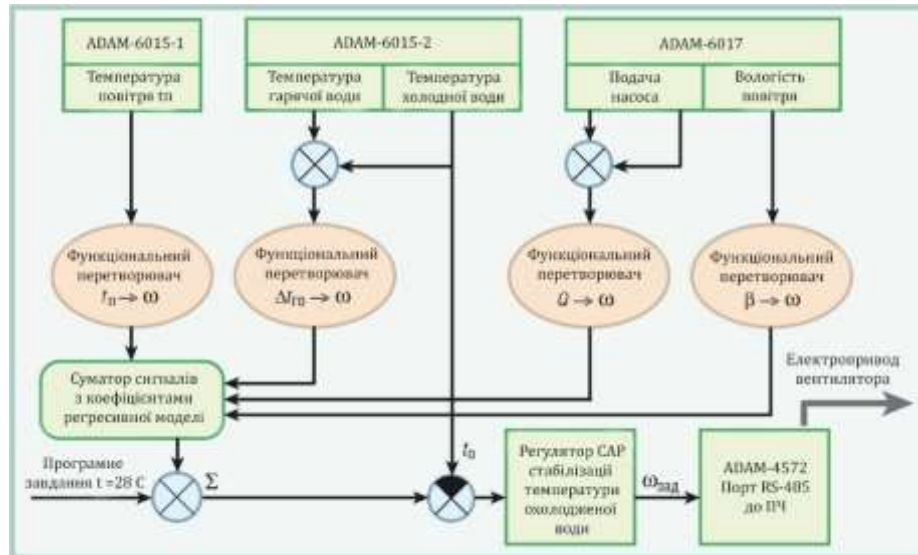


Рисунок 4.5 – Перетворення сигналів у системі керування швидкістю вентилятора градирні



Рисунок 4.6 – Модель перетворення сигналів у замкнутій системі керування швидкістю 68 електроприводи вентиляторної градирні

Однак, судячи з представлених на рисунку 4.7 залежностям $\omega = f(\beta \cdot t_{п})$, практично всі такого роду характеристики є нелінійними, близькими на вигляд до функцій $y = x^n$ при $n > 1$. Тому подібну регресійну модель та алгоритм керування представляємо у вигляді:

$$\omega_{зад} = A(\Delta t_{го})^a \cdot (t_{п})^b \cdot (\beta)^c \cdot (Q)^d \cdot (\varepsilon)^g; \quad (4.3)$$

де: A – коефіцієнт пропорційності;

a, b, c, d, g – показники інтенсивності кожного з збурюючих впливів, включаючи перешкоди та невраховані атмосферні збурення ε (інтенсивність і напрям вітру, добові зміни тиску, наявність та характер опадів).

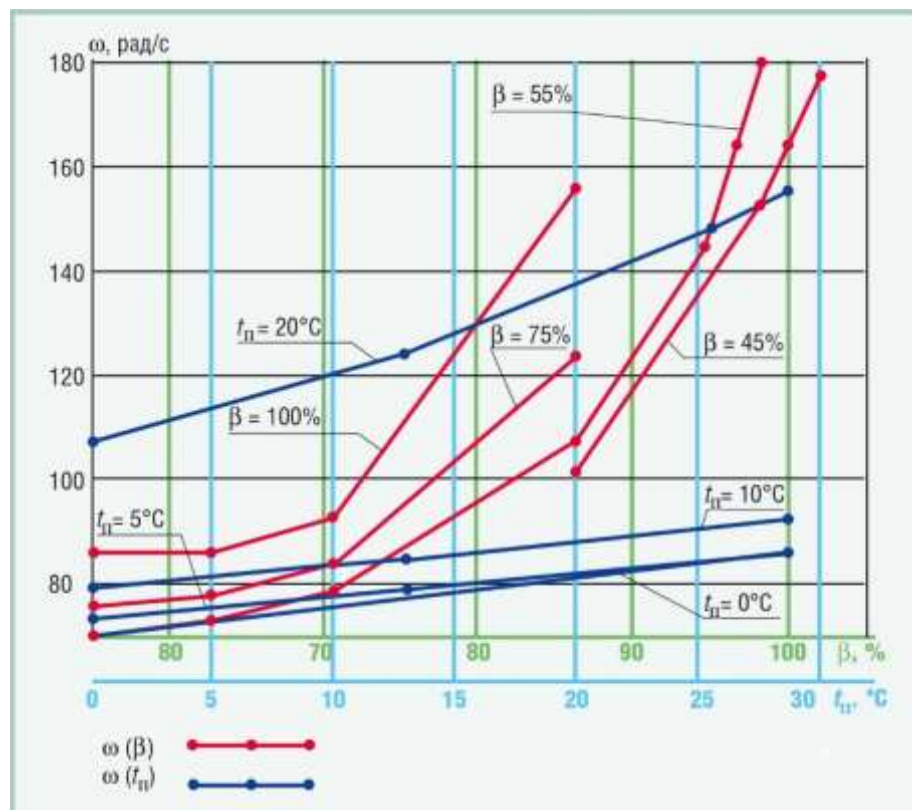


Рисунок 4.7 – Експериментальні залежності, що характеризують можливості охолодження градирні

Залежно від конкретних вимог до точності завдання швидкості вентилятора та підтримання стабільної температури охолодженої води використовуються або лінеаризовані (точність до 10%), або нелінійні регресійні алгоритми. У другому випадку точність визначається сукупною точністю датчиків та коефіцієнтів у розрахунковому рівнянні [9].

4.4 Моделювання водооборотної системи охолодження цукрового заводу

Аналіз та перевірку адекватності взаємодії розроблених апаратних та програмних засобів АСК ТП водооборотної системи з вентиляторними градирнями доцільно проводити шляхом комп'ютерного моделювання в середовищі MatLab 6.5 та фізичного макетування системи малої потужності. Моделювання технологічних процесів проводилося в пакеті Simulink. Параметри каналів керування ПЧ-АД та зворотного зв'язку за температурою води відповідали проектним значенням (рис. 4.8, умовні позначення на схемі є загальноприйнятими у вибраному середовищі моделювання). Для імітації дії збурень на саму градирню в систему було введено два функціональні блоки перетворень, що забезпечують приріст до температури води при зміні метеорологічних та технологічних умов випарного охолодження у вентиляторній градирні [11].

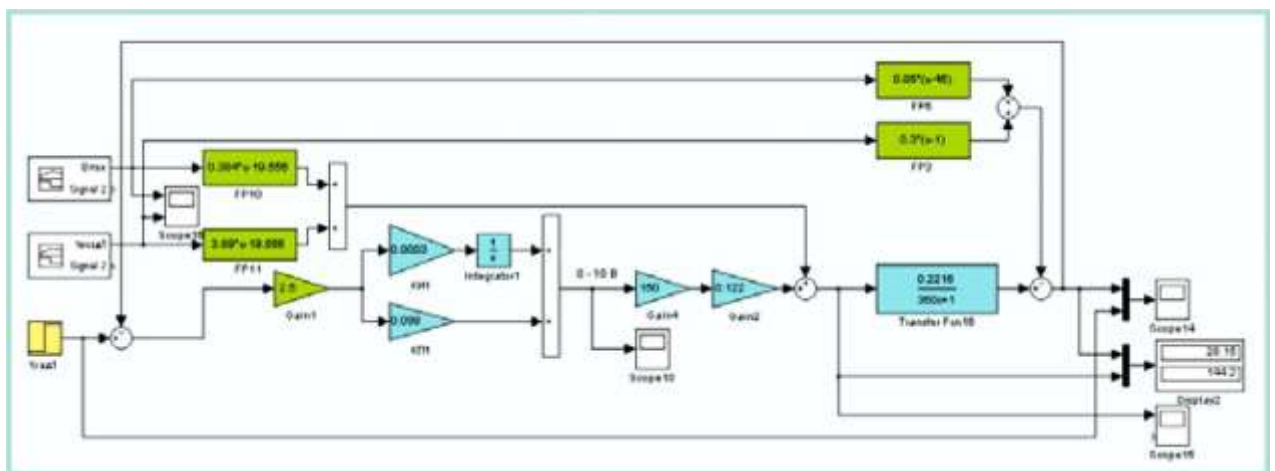


Рисунок 4.8 – Структурна схема моделі САК водооборотної системи, що враховує дії метеорологічних збурень (моделювання в середовищі MatLab)

Отримано достатній обсяг наочних результатів, що підтверджують коректність реалізації даного проекту. Наприклад, на рисунку 4.9 наведено часові діаграми перехідних процесів при лінійній та ступінчастій зміні збурень, що діють на водооборотну систему із вентиляторними градирнями. Дані

результати разом із дослідженнями на макеті електроприводу потужністю 300 Вт дозволяють підтвердити ефективність та адекватність розробленого проекту.

Вентиляторні градирні є центральною та найважливішою ланкою технологічного ланцюга відведення тепла водооборотної системи підприємств, оскільки шляхом випаровування та теплообміну з атмосферним повітрям вони дозволяють знизити температуру води до необхідних значень. Важливо й те, що, змінюючи швидкість обертання вентилятора градирні, можна регулювати вихідні параметри водообігу залежно від сезонних, метеорологічних та технологічних змін великої кількості факторів.

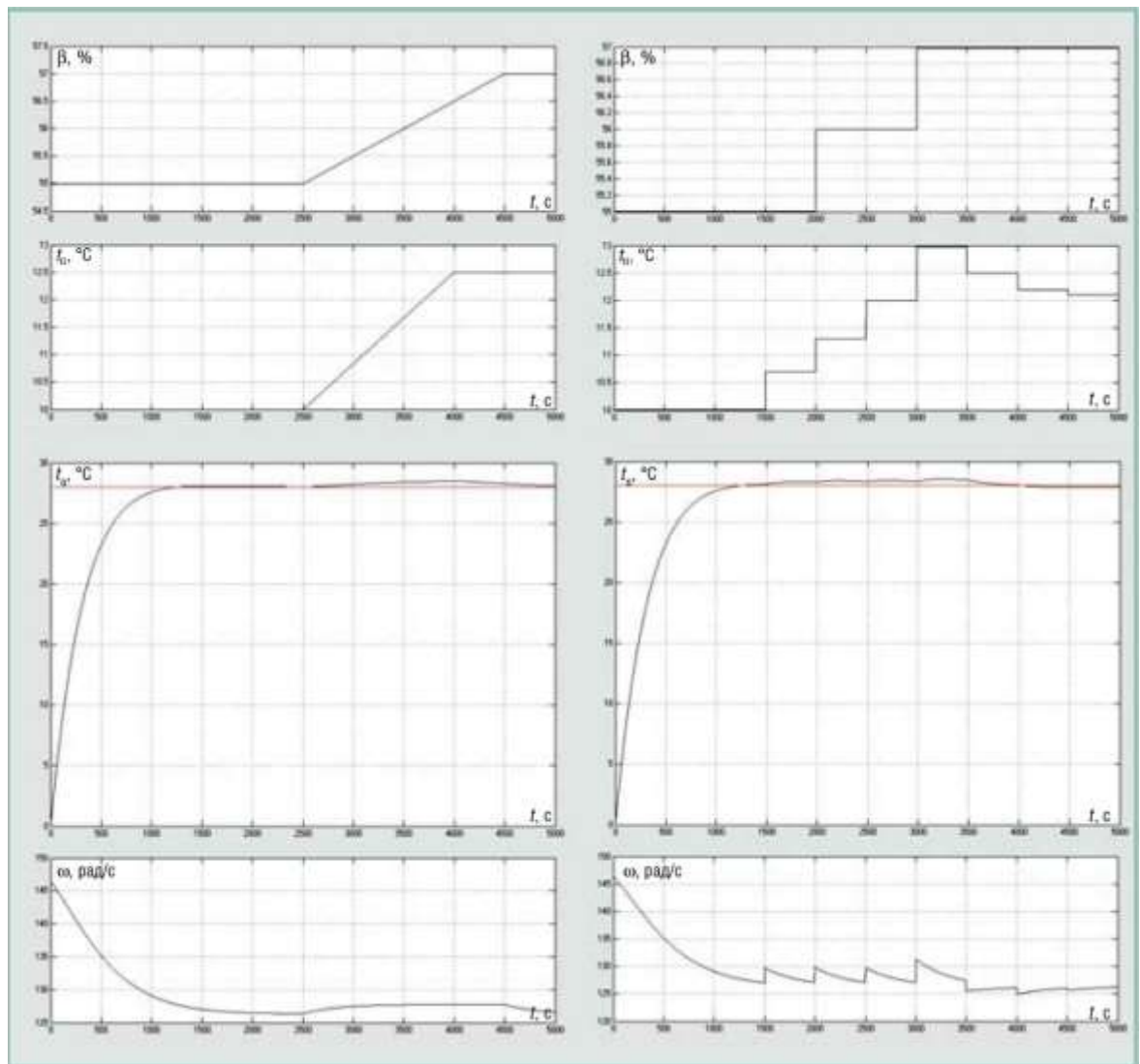


Рисунок 4.9 – Отримані за допомогою моделювання часові діаграми перехідних процесів при змінах збурень, що діють на водооборотну систему з вентиляторними градирнями

За високих вимог до статичної точності стабілізації головного технологічного параметра – температури охолодженої води – необхідно оптимізувати відповідні регулятори АСК ТП з урахуванням кількох видів збурень та можливості реалізації принципу декомпозиції при синтезі САК.

Висновки за розділом

Розроблено універсальну автоматизовану систему регулювання температури охолодженої води через керування електроприводом вентиляторної градирні. Розроблено сукупність регресійних алгоритмів для адекватного завдання швидкості обертання ПЧ-АД вентилятора градирні, що дозволяє точно врахувати вплив усіх критичних видів збурень. Крім того, розроблено та синтезовано замкнуту автоматизовану систему стабілізації температури охолодженої води на базі керування електроприводом ПЧ-АД, інваріантну до дії всіх основних метеорологічних та технологічних збурень.

ВИСНОВКИ

У ході виконання кваліфікаційної роботи магістра досягнуті всі поставлені завдання. Всебічно досліджено технологічний процес водообігу на цукровому заводі та можливість удосконалення системи керування ним з урахуванням вимог сучасності: швидкодії, точності та мінімальності засобів автоматизації.

У першому розділі провели аналіз технологічного процесу водообігу на цукровому заводі. Прийшли до висновку, що цей процес має ряд недоліків у системі керування та потребує негайних сучасних їх рішень. Основними напрямками вдосконалення є система керування електроприводами, а також система охолодження водооборотної води. Виконали огляд та моделювання послідовного, паралельного та комбінованого способу установки електроприводів насосів.

У другому розділі, відповідно до вимог сучасного електропривода, розрахували та підібрали двигун. Виконали аналіз кінематичної схеми електропривода та визначили її параметри. Дослідили сучасні рішення керування електроприводом та розробили раціональну систему керування для системи водообігу на цукровому заводі. Для розробленої системи склали функціональну та структурну схеми. Виконали розрахунок перехідних процесів та визначення показників якості.

У третьому розділі розробили контури автоматизації для системи водообігу на цукровому заводі. Для кожного контуру підібрали засоби автоматизації. Описали алгоритмічні шляхи технологічного процесу водообігу на цукровому заводі.

У четвертому розділі розробили універсальну автоматизовану систему регулювання температури охолодженої води через керування електроприводом вентиляторної градирні. Розробили сукупність регресійних алгоритмів для адекватного завдання швидкості обертання ПЧ-АД вентилятора градирні, що дозволяє точно врахувати вплив усіх критичних видів збурень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Автоматизація виробничих процесів: навчальний посібник/Б.М.Гончаренко,С. І. Осадчий,Л.Г.Віхрова та ін.Кіровоград: ЛисенкоВ.Ф.,2016–352 с.
2. Айрапетян Т. С. Конспект лекцій з дисципліни «Зворотні і безстічні системи водопостачання промислових підприємств» (для студентів освітнього рівня «магістр», спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія, спеціалізація (освітня програма) «Раціональне використання і охорона водних ресурсів»)/ О. М. Касімов, Т. С. Айрапетян ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 150 с.
3. Голодний І.М., Червінський Л.С., Жильцов А.В., Санченко О.В. Романенко О.І. Моделювання регульованого електропривода: Підручник. – К.: Аграр Медіа Груп, 2019. – 266 с.: іл.
4. Донець О. В. Теорія електропривода: конспект лекцій (для студентів усіх форм навчання за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка, електромеханіка) / В. І. Колотіло, О. В. Донець ; – Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. – 148 с.
5. Ладанюк А.П.,Заєць Н.А., Власенко Л.О. Сучасні технології конструювання систем автоматизації складних об'єктів: монографія. Київ:Ліра-К., 2016. –312 с.
6. Кухар В.М. Щурбований В.М. Стратегічні напрями удосконалення водного господарства цукрових заводів і поліпшення екологічних умов цукрової галузі//Продовольчі ресурси Т. 12 (2024), №22.
7. Моделювання систем керування в SIMULINK : навч. посібник / [В. О. Богомолів, О. Г. Гурко, В. І. Клименко, Д. М. Леонт'єв, О. М. Красюк] ; М-во освіти і науки України. Харків ХНАДУ, 2018. – 220 с.
8. Ресурсоефективне використання водних ресурсів. Конспект лекцій [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 101 «Екологія», 161 «Хімічні технології та інженерія» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: І.М. Трус,

М. Д. Гомеля, М.М. Твердохліб – Електронні текстові дані (1 файл: 3,65 Мбайт).
– Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 161 с.

9. Сідлецький В. М., Ельперін І. В. Технологія конструювання сучасних автоматизованих систем. (З прикладами для дифузійного станції цукрового заводу). Монографія. – Київ: Видавництво Ліра-К, 2022. – 180 с.

10. Сухенко Ю.Г., Серьогін О.О., Сухенко В.Ю., Рябоконт Н.В. Ресурсозберігаючі технології в харчових і переробних виробництвах: [Підручник] / За ред. проф. О.О.Серьогіна. – К.: ЦП «КОМПРИНТ», 2016. – 338 с.

11. Теорія автоматичного керування: навчальний посібник / П. В. Леонтєв та ін. ; за заг. ред. П. В. Леонтєва. – Суми : Сумський державний університет, 2024. – 296 с.

12. Трасковецька Л., Боровик Л., Боровик О. Програмування в середовищі MATLAB Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт: Навчально-методичний посібник. Хмельницький: Видавництво НАДПСУ, 2023.

13. Хорольський, В. П. Х 81 Автоматизація виробничих процесів: підручник / В. П. Хорольський, Ю. М. Коренець. – Кривий Ріг: [ДонНУЕТ], 2022. – 400 с.

14. Цукрова промисловість: традиції та інновації. Вітчизняний та світовий досвід [Електронний ресурс] : наук.-допом. бібліогр. покажч. / [упоряд. О. В. Олабоді] ; Нац. ун-т харч. технол., Наук.-техн. б-ка. – Київ, 2018. – 92 с.

15. Каталог датчиків тиску. – Режим доступу:
<https://intercool.com.ua/preobrazovatel-davlenija-danfoss-mbs-1900-064g6531.html>

16. Каталог витратомірів. – Режим доступу:
<https://www.ifm.com/ua/uk/product/SMF250#documents>

17. Каталог датчиків рівня. – Режим доступу:
<https://www.ifm.com/ua/uk/product/PS3407>

18. Каталог ПЛК. – Режим доступу:
<https://www.ifm.com/ua/uk/product/AC424S#documents>
19. Каталог насосів. – Режим доступу:
<https://ukrnasosprom.com.ua/ua/p376053861-nasos-1d1600.html>
20. Каталог електродвигунів. – Режим доступу:
<https://systemax.ua/ua/elektrodivigateli/trehfaznye-obshepromyshlennye-elektrodivigateli/3m-ie3/3mgs-3551a4-13e-3551a4-400.html>
21. Каталог перетворювачів частоти. – Режим доступу:
<https://deltaww.com.ua/vfd4000cp43c-21-preobrazovatel-chastoty-400kw-380v-vfd4000cp43c-21?dsort=added&dorder=DESC>
22. Каталог запобіжників. – Режим доступу: <https://www.eaton.com/us/en-us/skuPage.KTU-1500.html>
23. Каталог контакторів. – Режим доступу: <https://agart.ua/kontaktor-af750-30-11-100-250v>

ДОДАТКИ

Метою магістерської роботи є пошук сучасних рішень для удосконалення системи електроприводу насосів водообігу на цукровому заводі.

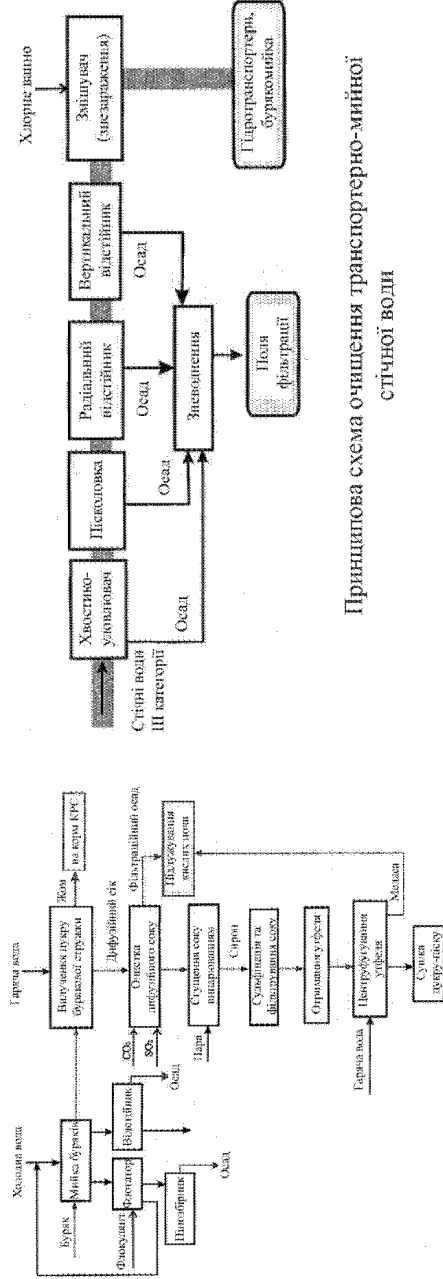
Об'єктом магістерської роботи є система керування системою водообігу цукрового заводу.

Предметом магістерської роботи пошук напрямків вдосконалення та розробка сучасної САК водообігу цукрового заводу.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні завдання:

- проаналізувати технологічний процес виробництва цукру з точки зору водообігу;
- виконати аналіз системи електроприводу насосів водообігу як об'єкта модернізації;
- визначити напрямки модернізації системи керування водообігу та електроприводів насосів;
- окреслити вимоги до електроприводів виконати їх вибір;
- виконати аналіз кінематичної схеми та визначення її параметрів;
- розрахувати основні параметри об'єкта керування;
- розробити раціональну систему керування, функціональну схему САР електроприводу,
- розрахувати перехідні процеси та визначення показників якості;
- сформулювати функціональну схему автоматизації водообігу на цукровому заводі;
- обрати засоби та елементи схеми керування автоматизованої системи водообігу;
- розробити функціональну схему водооборотної системи охолодження цукрового заводу;
- проаналізувати алгоритмічне та програмне забезпечення градієнтів на цукровому заводі;
- виконати моделювання водооборотної системи охолодження цукрового заводу.

Аналіз технологічного процесу виробництва цукру

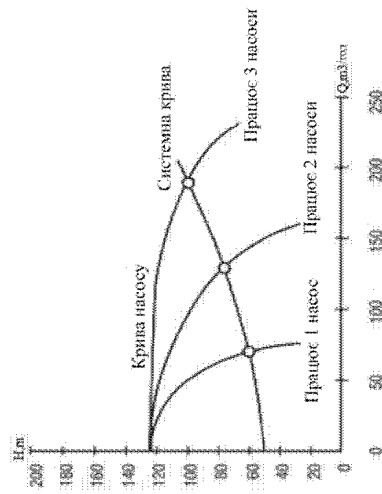


Принципова схема очищення транспортно-мийної січної води

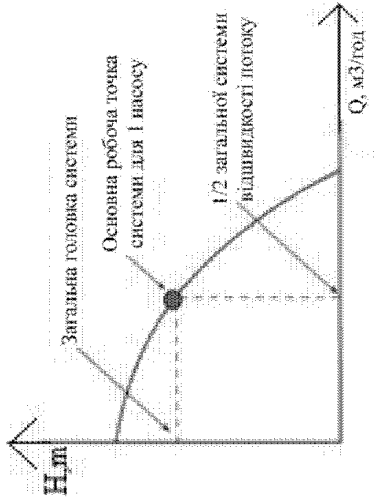
Принципова схема цукробурякового виробництва з урахуванням водовідведення

Види споживання	Свіжа вода		Оборотна вода	Послідовно використовується
	Всього	У тому числі на питна вода		
На власні потреби	1,62	0,03	15,04	2,97
-технологічні	1,46	0,03	15,04	2,29
-допоміжні	0,16	0	1,18	0,68
На господарські потреби	0,18	0,10	0	0,03
Всього	1,8	0,13	16,22	3,00

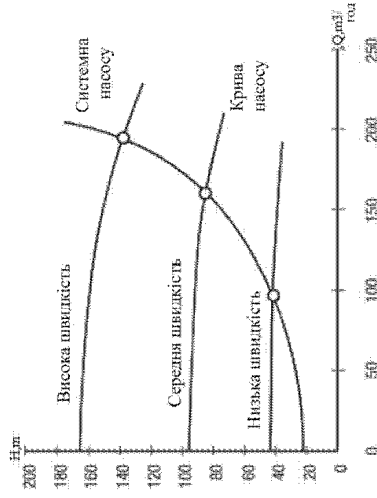
Розробка плану розташування обладнання станції водопідготовки



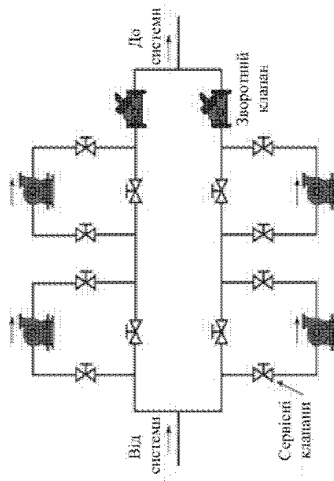
Багаторазова робота насоса



Базова робоча точка паралельного насоса

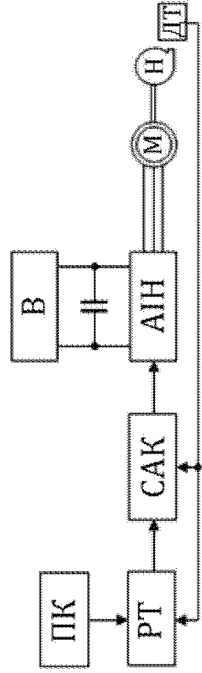


Криві продуктивності багатошвидкісного насоса



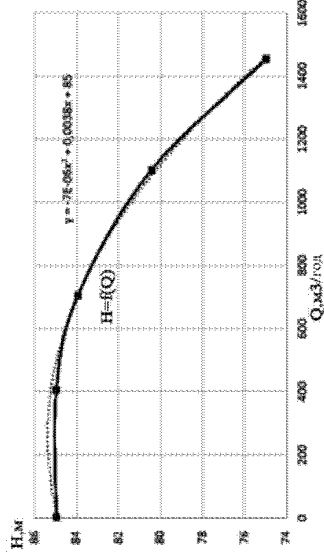
Базова паралельна та послідовна установка насосів

Функциональна схема САК электроприводів насосів водообігу на цукровому заводі

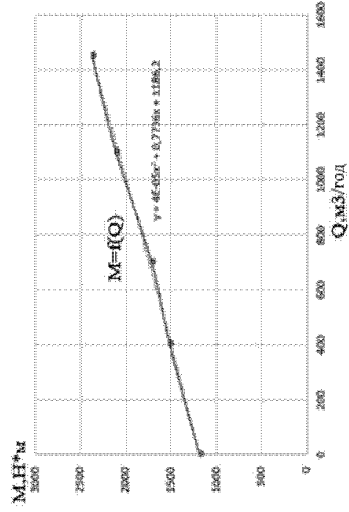


Функциональна схема керування електроприводом насоса

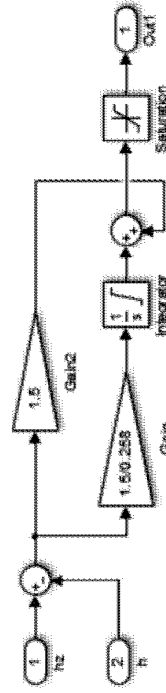
ПК – пульт керування; РТ – регулятор тиску; САК – система автоматичного регулювання; В – випрямляч; АІН – автономний інвертор напруги; М – асинхронний двигун; Н – відцентровий насос; ДТ – датчик тиску



Крива напору насоса від необхідної витрати води

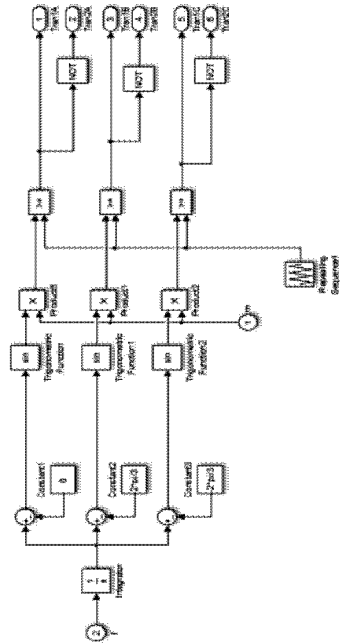


Крива моменту насоса від необхідної витрати води

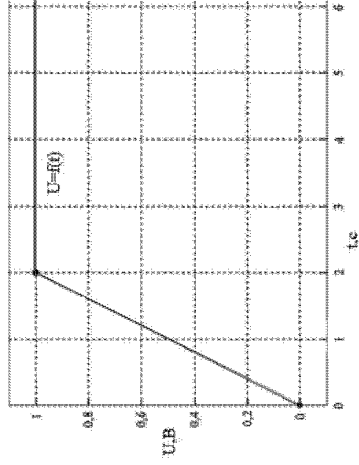


Модель регулятора тиску

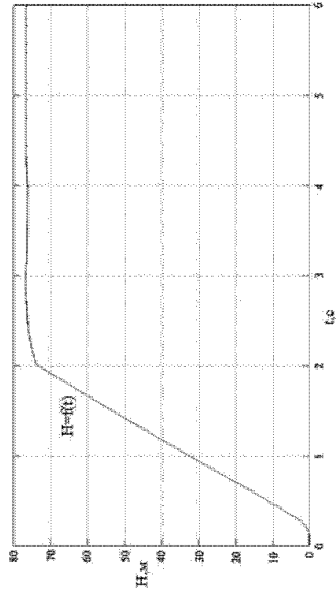
Дослідження САК електроприводів насосів вододобу́гу на цукровому заводі



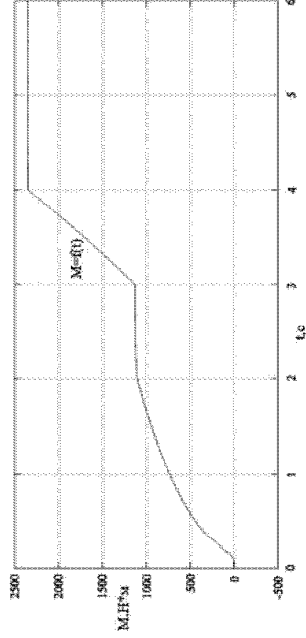
Модель керування ШІМ



Вхідний сигнал напруги

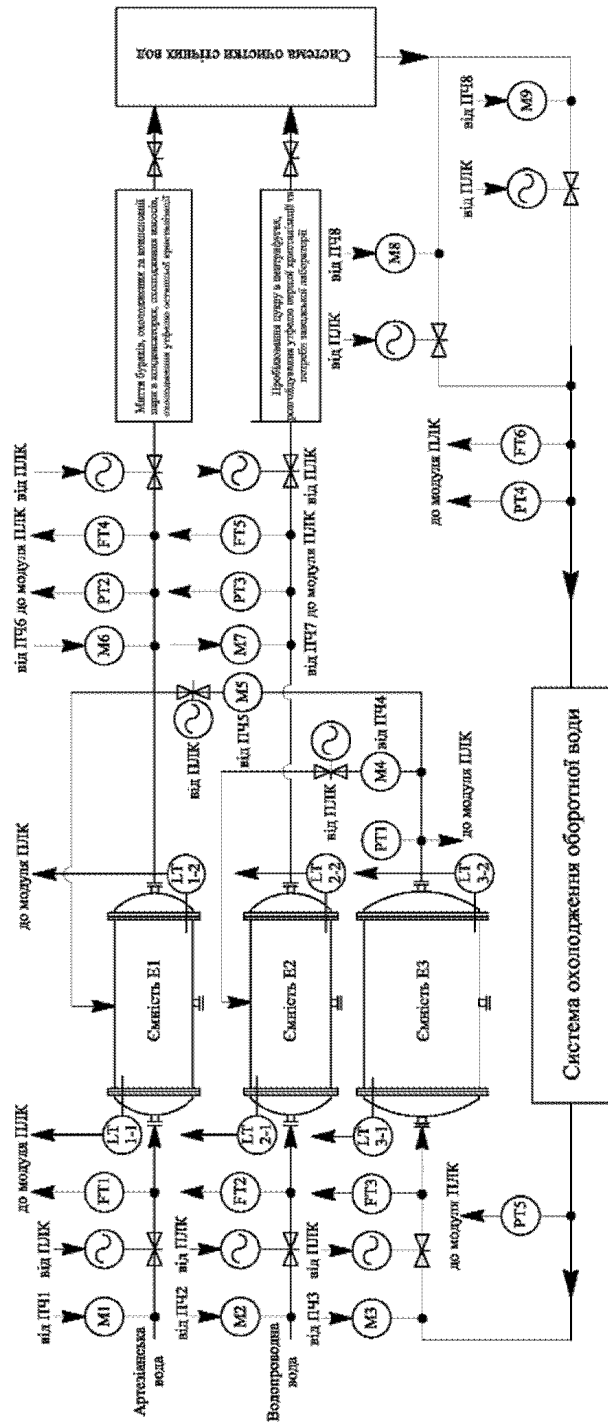


Графік перехідного процесу напруги

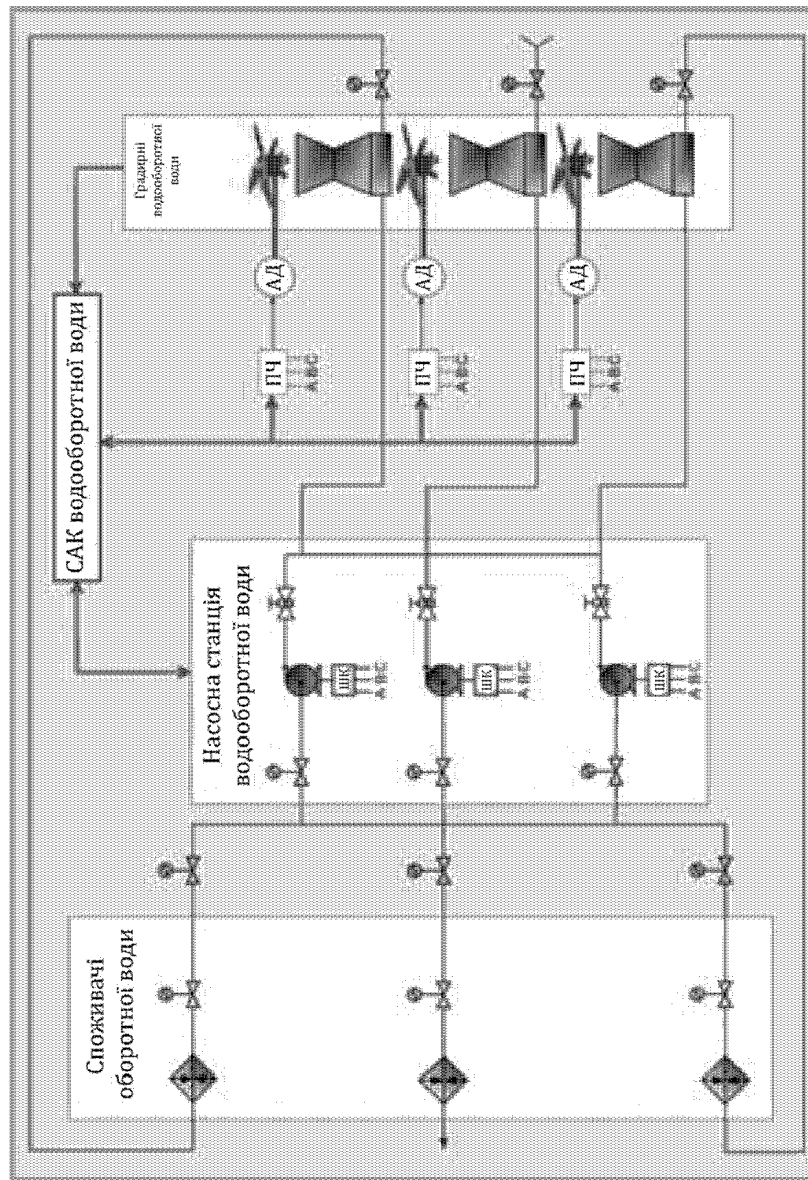


Графік статичного моменту приводу

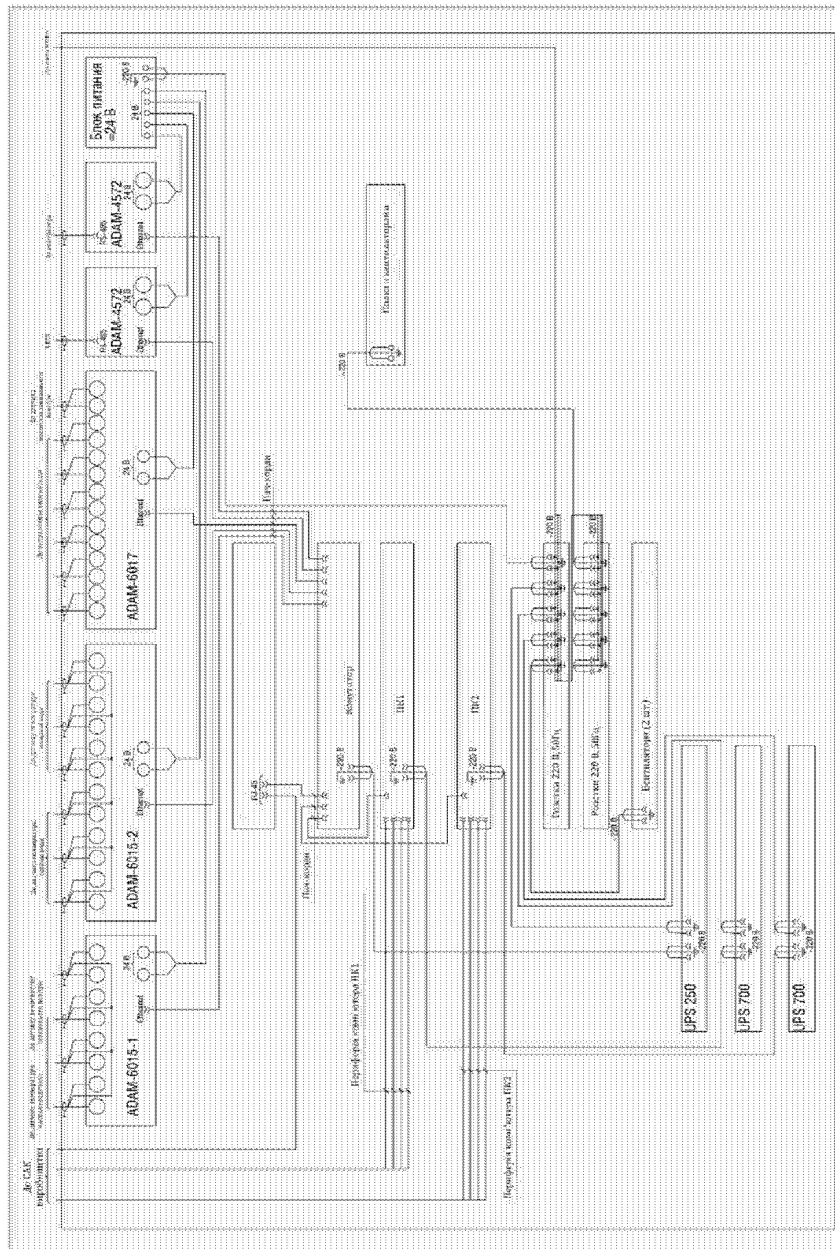
Функциональна схема автоматизації системи вододобу на цукровому заводі



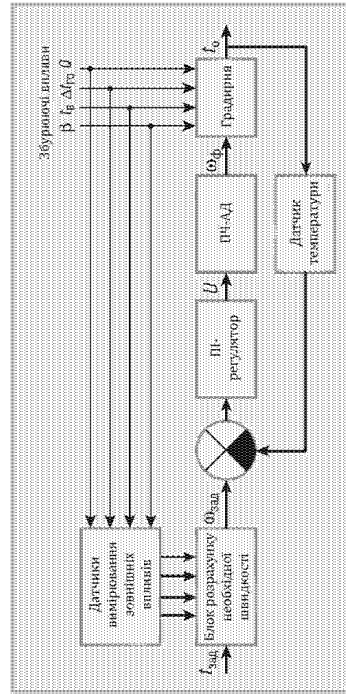
Функциональная схема водоборотной системы охлаждения на цукровом заводе



Принципова схема єдиного диспетчерського посту водооборотної системи охолодження на цукровому заводі

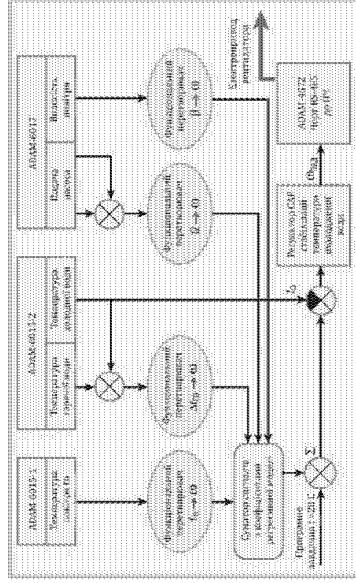


Функціональна схема автоматизації вентиляторної градирні

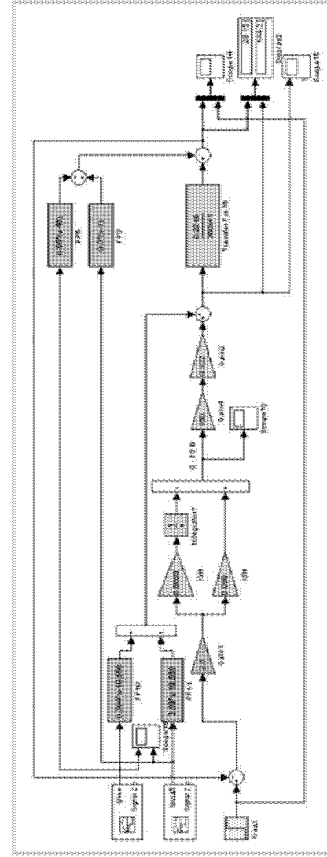


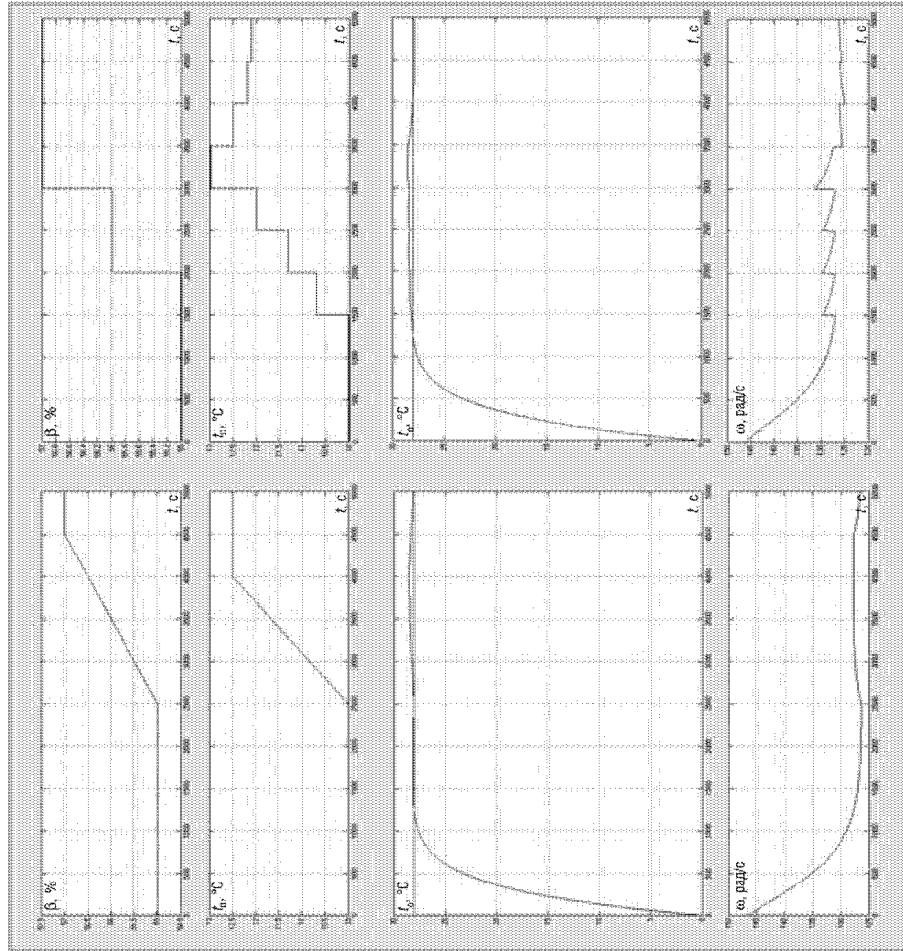
Функціональна схема автоматизації вентиляторної градирні

t – температура охолодженої води, задана і фактична; $\Omega_{зад}$ – швидкість обертання електродвигуна вентилятора, задана та фактична відповідно; $\Delta t_{в0}$ – перепад температур гарячої/охолодженої води; $t_{в}$ – температура навколишнього повітря; β – вологість навколишнього повітря; Q – подача насоса; U – напруга живлення; ПЧ-АД – система частотно-регульованого електродвигуна «перетворення частоти – асинхронний двигун»



Перетворення сигналів у системі керування швидкістю вентилятора градирні



Моделювання водоборотної системи охолодження цукрового заводу

Загальні висновки

У ході виконання кваліфікаційної роботи магістра досягнуті всі поставлені завдання. Всебічно досліджено технологічний процес водообігу на цукровому заводі та можливість удосконалення системи керування ним з урахуванням вимог сучасності: швидкодії, точності та мінімальності засобів автоматизації.

У першому розділі провели аналіз технологічного процесу водообігу на цукровому заводі. Прийшли до висновку, що цей процес має ряд недоліків у системі керування та потребує негайний сучасних їх рішень. Основними напрямками вдосконалення є система керування електроприводами, а також система охолодження водооборотної води. Виконали огляд та моделювання послідовного, паралельного та комбінованого способу установки електроприводів насосів.

У другому розділі, відповідно до вимог сучасного електропривода, розраховали та підбрали двигун. Виконали аналіз кінематичної схеми електропривода та визначили її параметри. Дослідили сучасні рішення керування електроприводом та розробили раціональну систему керування для системи водообігу на цукровому заводі. Для розробленої системи склали функціональну та структурні схеми. Виконали розрахунок перехідних процесів та визначення показників якості.

У третьому розділі розробили контури автоматизації для системи водообігу на цукровому заводі. Для кожного контуру підбрали засоби автоматизації. Описали алгоритмічні шляхи технологічного процесу водообігу на цукровому заводі.

У четвертому розділі розроблено універсальну автоматизовану систему регулювання температури охолодженої води через керування електроприводом вентиляторної градирні. Розроблено сукупність регресійних алгоритмів для адекватного завдання швидкості обертання ПЧ-АД вентилятора градирні, що дозволяє точно врахувати вплив усіх критичних видів збурень.