

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ
СІКОРСЬКОГО»**

Факультет електроенерготехніки та автоматики

(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

(підпис) С. М. Пересада
(ініціали, прізвище)

“ ” 20__ р.

Дипломний проект

на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня бакалавра

за напрямом підготовки 6.050702 – електромеханіка

(код і назва)

на тему: Електромеханічна система насосної установки з використанням частотного керування

Виконав: студент 4 курсу, групи ЕП-51
(шифр групи)

Козирєв Андрій Олександрович _____
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Керівник к.т.н., проф. Печеник Микола Валентинович _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант _____ _____
(назва розділу) (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент _____ _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2019 року

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
	A4	6.050702.5116.011.БР	Завдання на дипломний проект	2	
	A4	6.050702.5116.011.БР	Пояснювальна записка	71	
	A1	6.050702.5116.011.ДП	Технологічна схема та структурна схема насосу	1	
	A1	6.050702.5116.011.ДП	Функціональна схема асинхронного електроприводу	1	
	A1	6.050702.5116.011.ДП	Структурна схема та графіки перехідних процесів	1	

				6.050702.5116.011.БР		
	ПІБ	Підп.	Дата			
Розробн.	Козирев А. О.			Відомість дипломного проекту	Лист	Листів
Керівн.	Печеник М.В.				2	
Консульт.					КПІ ім. І. Сікорського	
Н/контр.					Каф. АЕМС-ЕП	
Зав.каф.	Пересада С.М.				Гр. ЕП -51	

Пояснювальна записка до дипломного проекту

на тему: Електромеханічна система насосної установки з використанням частотного керування

Київ – 2019 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Факультет електроенерготехніки та автоматики

(повна назва)

Кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу

(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність 6.050702 – електромеханіка

(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

С. М. Пересада

(підпис)

(ініціали, прізвище)

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту

Козирєву Андрію Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту Електромеханічна система насосної установки з використанням частотного керування,

керівник проекту Печеник Микола Валентинович к.т.н. професор
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «__» _____ 20__ р. № _____

2. Термін подання студентом проекту 30 травня 2019

3. Вихідні дані до проекту: Напір $H_{\text{ном}} = 24$ м; максимальна споживана теплова потужність $P_{\text{max}} = 2,791$ МВт.

4. Зміст пояснювальної записки: Зміст. Вступ. 1. Аналітичний огляд. Аналіз систем електроприводу насосних установок. 2. Розрахунок і вибір елементів механічної частини. 3. Розрахунок елементів системи керування. 4. Розробка математичної моделі електромеханічної системи. 5. Розробка моделі електромеханічної системи для дослідження статичних та динамічних режимів в пакеті Matlab Simulink. Висновки. Перелік літератури.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо)

6. Консультанти розділів проекту*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 04.04.19

Керівник проекту

В.М. Печеник
(ініціали, прізвище)

(підпис)

Студент

А.О. Козирєв
(ініціали, прізвище)

(підпис)

* Консультантом не може бути зазначено керівника дипломного проекту.

РЕФЕРАТ

Дипломний проект виконаний на 71 сторінці та вміщує 31 рисунків, 6 таблиць та 3 плакати А1.

Метою дипломного проекту є розробка автоматизованого електроприводу циркуляційної насосної установки.

В результаті виконання дипломного проекту було вирішено наступні задачі: проведено аналіз особливостей конструкції, режимів роботи та різних методів регулювання електроприводу насосних установок різних типів. Було сформовано вимоги до електропривода та системи керування, обґрунтовано та вибрано систему електроприводу, розраховано та вибрано елементи силового контуру електромеханічної системи. Також була розроблена математична модель електромеханічної системи циркуляційної насосної установки, на основі якої було проведено моделювання електромеханічної системи у середовищі MATLAB Simulink. Отримано результати досліджень динамічних та статичних режимів роботи електромеханічної системи циркуляційної насосної установки при різних рівнях стабілізації температурних режимів гідравлічної мережі.

НАСОСНІ УСТАНОВКИ, ЕЛЕКТРОПРИВОД, АСИНХРОННИЙ ДВИГУН, ПЕРЕТВОРЮВАЧ ЧАСТОТИ, СТАБІЛІЗАЦІЯ ТЕМПЕРАТУРИ, РЕГУЛЯТОР ШВИДКОСТІ, МОДЕЛЮВАННЯ, СХЕМА ЕЛЕКТРИЧНА ПРИНЦИПОВА, СТРУКТУРНА СХЕМА.

					6.050702.5116.011.БР			
		№ докум.	Підпис					
Розроб.	Козирев А.О.				Електромеханічна система насосної установки з використанням частотного керування Реферат	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.	Печеник М. В.						6	74
						НТУУ «КПІ ім. І.Сікорського»		
Н. Контр.						Каф. АЕМС-ЕП Гр. ЕП -51		
Затверд.	Пересада С. М.							

SUMMARY

The diploma project is fulfilled on 71 pages and contains 31 figures and 6 tables and 3 posters A1.

The main goal of this project is creating a fully automated electric drive for circulating pumping installation system.

As a result of executing that project next problems were solved: analyses of different working modes, features of construction and different methods of regulation of electric drive for different types of pumping units. Requirements for the electric drive and control system were formed, the electric drive system was substantiated and selected, the elements of the power circuit of the electromechanical system were calculated and selected. A mathematical model of the electromechanical system of a circulating pump installation was developed, on the basis of which the modeling of the electromechanical system in the environment of MATLAB Simulink was carried out. The results of researches of dynamic and static modes of work of the electromechanical system of a circulating pumping unit at different levels of stabilization of temperature of the hydraulic network were obtained.

PUMPING UNIT, FREQUENCY CONVERTERS, ELECTRIC DRIVE, REGULATORS, ASYNCHRONOUS MOTORS, TEMPERATURE STABILIZATION, DESIGN OF THE ELECTRICAL PRINCIPLE, MODELING.

					6.050702.5116.011.BW			
		№ of doc.	Sign					
Devel.	Kozyrev A. O.				<i>Electromechanic pumping unit system with use of frequency control Summary</i>	L.	Page	Pages
Checked	Pechenik M. V.						7	74
						NTUU «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», FEA		
N. Contr.								
Approved	S. Peresada							

ЗМІСТ

ВСТУП	10
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАСОСНИХ УСТАНОВОК	11
1.1 Загальні відомості про насоси та насосні установки.....	11
1.2 Класифікація насосів	11
1.3 Режими роботи насосних установок	17
1.4 Вибір насосу.	19
1.5 Вимоги до системи управління. Вибір системи управління насосної установки. Технічне порівняння різних систем управління.....	21
2 РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ НАСОСУ ТА ВИБІР ПРИВІДНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГУНА	30
2.1 Розрахунок потужності приводного двигуна насосної установки.....	30
2.2 Розрахунок номінальних даних двигуна	33
2.3 Розрахунок параметрів Т-подібної схеми заміщення.....	34
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2	38
3 РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР ПЕРЕТВОРЮВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ І ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ	39
3.1 Розрахунок елементів перетворювального пристрою.....	41
3.2 Вибір перетворювача частоти	42
3.3 Вибір датчиків.....	43
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3	44
4 СИНТЕЗ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ.....	45
4.1 Математична модель насосної установки	45
4.2 Математична модель асинхронного двигуна	46
4.3 Синтез регулятора швидкості	47

4.4 Синтез функціонального блоку регулювання температури	51
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4	55
5 ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ НАСОСУ	56
5.1 Розробка моделі для дослідження динамічних режимів роботи.....	56
5.2 Дослідження характеру стабілізації Δt при одиночній зміні теплової потужності навантаження.....	59
5.3 Дослідження характеру стабілізації Δt при багатократний зміні теплової потужності навантаження.....	64
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 5	69
ВИСНОВКИ.....	70
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	71

ВСТУП

В сучасному світі майже всі сфери діяльності людей мають потребу в опаленні та гарячому водопостачанні, тому що це одні з найважливіших аспектів, що забезпечують нам комфортне життя.

Забезпечення населення та промисловості теплом є вагомим показником розвитку країни. Теплоносій після свого нагрівання, за допомогою насосних установок різних типів, потрапляє до споживача.

По приблизним оцінкам експертів біля 20 % споживаної електроенергії у світі , що є дуже високим показником, припадає на насосні установки. Область застосування насосів надзвичайно широка, насоси та насосне обладнання використовується для перекачування рідини в усіх сучасних промислових виробництвах, насоси забезпечують водою і теплом величезні мегаполіси, відкачують промислові та комунальні стоки, насоси працюють всюди, де необхідно створити енергію потоку.

Через великий відсоток споживання електроенергії насосами стає актуальним питання про підвищення енергоефективності їх використання за допомогою автоматизації.

Використання нових методів керування насосами дозволяє оптимізувати роботу технологічного процесу, значно покращити енергоефективність і збільшити довговічність елементів, що задіяні в одній системі з насосною установкою. Одним з методів регулювання технологічного процесу в системі опалення, який покращує показники роботи, є підтримання різниці температури між системою подачі теплоносія та зворотною системою на заданому рівні.

Саме тому метою роботи є розробка електроприводу насоса, що забезпечує стабілізацію температурної різниці в системі опалення.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАСОСНИХ УСТАНОВОК

1.1 Загальні відомості про насоси та насосні установки

Насос – це гідравлічна машина, яка надає рідині енергії переміщення. Насосним агрегатом називається поєднання насосу, приводного двигуна та механізму, що передає обертовий рух від приводного двигуна до насосу.

Насосна установка, зазвичай, складається з одного або декількох насосних агрегатів, трубопроводів, запірно-регулюючої арматури, контрольно-вимірювальної апаратури, апаратури управління і захисту. Насосна станція - це спорудження, що включає в себе декілька насосних установок, систему електропостачання, систему захисту, допоміжні механізми, які забезпечують нормальну роботу об'єкта [1].

1.2 Класифікація насосів

Найбільш розповсюдженою є класифікація насосів по принципу дії. Згідно з цією класифікацією всі можливі конструкції насосів можна поділити на дві основні групи: об'ємні та динамічні. Об'ємний насос - це гідравлічна машина в якій передача енергії рідини виконується за рахунок зміни об'єму робочої камери. Робоча камера об'ємного насосу герметична і змінно з'єднується з лініями нагнітання та всмоктування – входом та виходом насосу. Динамічний насос – це гідравлічна машина, в якій рідина переміщається під силовими впливами в камері, яка постійно з'єднується з входом та виходом насосу. Перекачування рідини в динамічних насосах відбувається як правило за рахунок сил інерції (в лопатевих) або тертя (в насосах тертя) [2].

Об'ємні :

- зворотно-поступальні (поршневі, плунжерні, діафрагмові)
- обертові (шиберні, поршневі, гвинтові, зубчасті)

Динамічні:

- лопатеві (відцентрові, осьові, діагональні)
- тертя (вихрьові, дискові, шнекові, струйні)

Лопатеві насоси (відцентрові і осьові) зайняли більшу частину всіх насосів які використовуються в насосних установках.

Відцентрові насоси (рис. 1.1).

У середині нерухомого корпусу 1, що має спіральну форму, знаходиться робоче колесо 2, закріплене на валу 3. Колесо 2 складається з двох дисків, між якими розташовані лопаті 4. Корпус насоса з'єднаний з всмоктуючим і напірним трубопроводами патрубками 5 і 6.

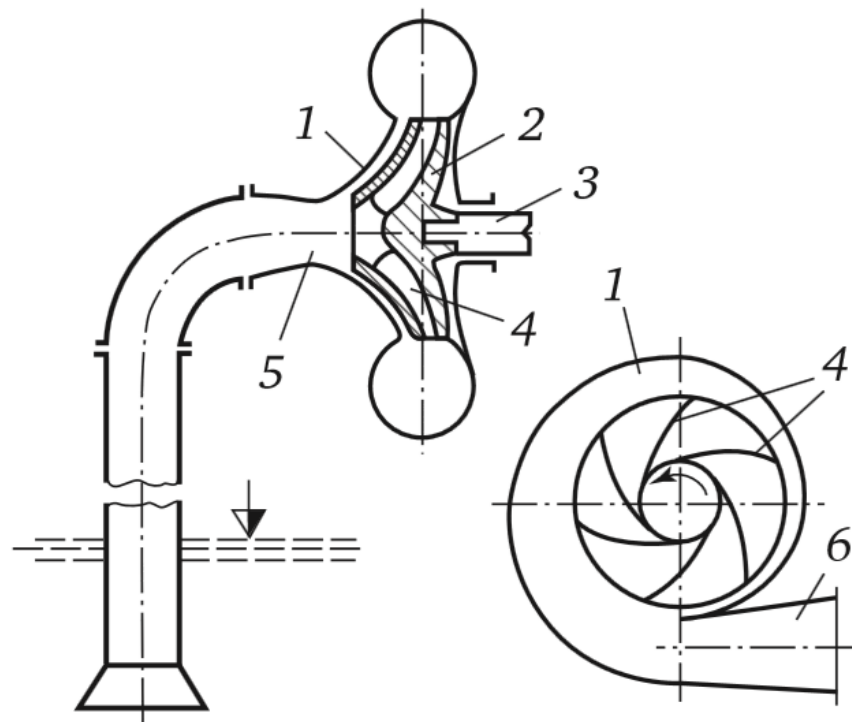


Рисунок 1.1 – Конструкція відцентрового насоса

Конструкція осьових насосів зображена на рис 1.2. В сферичній камері (1) обертається робоче колесо (3). При впливі лопатей (4) робочого колеса на рідину за рахунок зміни швидкості течії тиск над лопатю підвищується, а під нею знижується. Завдяки різниці тисків, рідина переміщається уздовж осі насоса. Випрямляючий апарат (2) прибирає завихрення і робить потік рідини після насоса прямим. Насоси цього типу призначені для перекачування води в великих кількостях з невеликим напором (до 20 м).

Осьові насоси (типу О) виготовляються з жорстко закріпленими лопатями робочого колеса і з поворотними лопатями (типу ОП). Насоси обох типів можуть випускатися в двох виконаннях: Г - з горизонтальним розташуванням валу, В - з вертикальним. Можливість зміни кута установки лопатей насосів ОП дозволяє регулювати подачу і напір насоса в широких межах при збереженні високих значень ККД. Тому цей тип насосів оснащується, як правило, нерегульованим електроприводом [2].

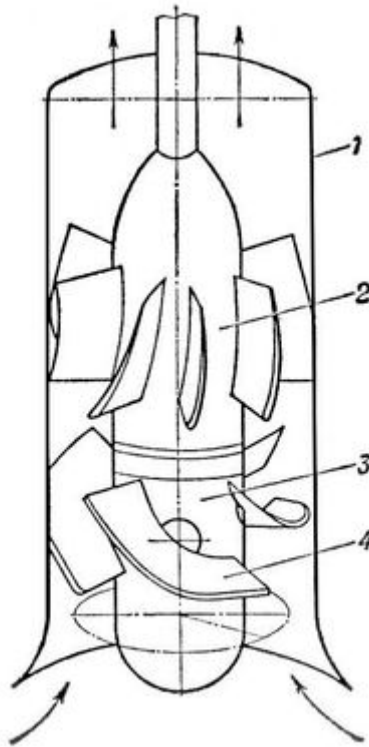


Рисунок 1.2 – Конструкція осьового насоса

Характеристика насосів

Основними параметрами, які характеризують режим роботи насосної установки є продуктивність (подача) та напір. Продуктивність (або подача) – об’єм рідини, який перекачується насосною установкою за одиницю часу. Вимірюється дана величина в $\text{м}^3/\text{год}$ ($\text{м}^3/\text{с}$). Різниця питомих енергій рідини в напірному та всмоктуючому патрубках насоса, необхідна для підйому рідини на необхідну висоту і для подолання сил супротиву в трубопроводі називається напором. Вимірюється дана величина в метрах .

Характеристика насосів це залежність основних параметрів насоса від продуктивності Q при певній частоті обертання n для певного діаметру робочого колеса D [3].

Робочі характеристики відцентрового насосу зображені на рис. 1.3

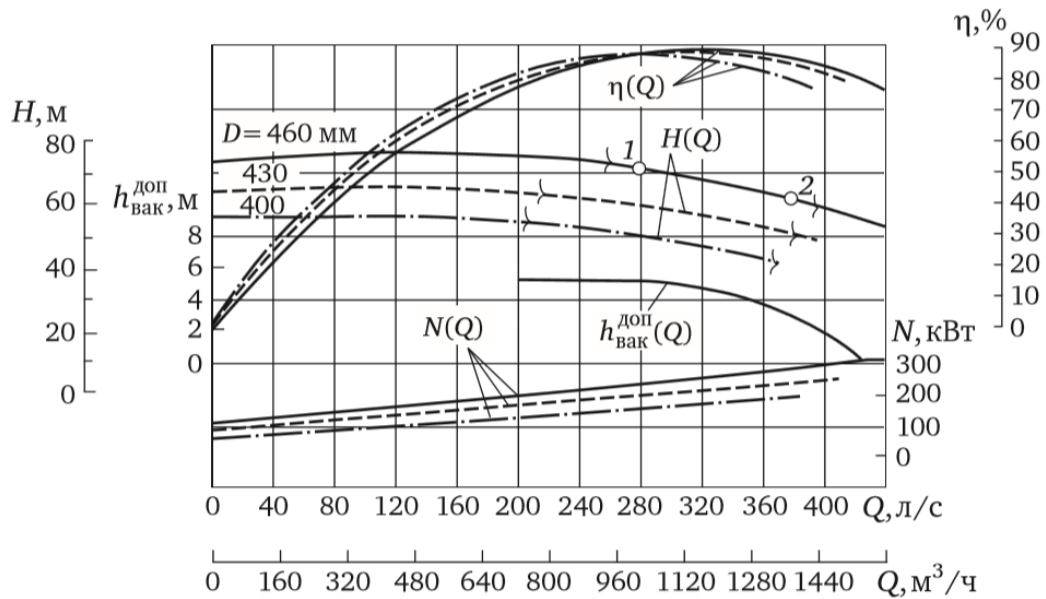


Рисунок 1.3 – Робочі характеристики відцентрового насосу

Характеристики інших типів насосів можуть відрізнятися від зображених на рис. 3.

Збільшення подачі спричиняє зменшення напору, а зменшення - збільшує напір. У межах рекомендованих подач і напорів характеристика $H = f(Q)$ описується рівнянням ділянки квадратичної параболи:

$$H_H = H_\phi - S_\phi Q^2, \quad (1.1)$$

де H_ϕ – фіктивний напір при нульовій подачі, м; S_ϕ – гідравлічний фіктивний опір насоса, $\text{с}^2/\text{м}^5$.

Значення параметрів H_ϕ та S_ϕ для насосів зазвичай приводяться у відповідних таблицях. Але їх також визначають за каталожними або експериментальними характеристиками насоса. Для цього необхідно взяти координати двох точок робочої частини Q - H характеристики, наприклад, як на рис. 3 точок 1 та 2. Цим точкам відповідають значення напорів H_1 та H_2 та подач Q_1 та Q_2 . За формулами далі визначають гідравлічний опір насоса та фіктивний напір при нульовій подачі:

$$S_\phi = \frac{H_1 - H_2}{Q_2^2 - Q_1^2};$$

$$H_\phi = H_1 + S_\phi Q_1^2. \quad (1.2)$$

Значення фіктивного напору залежать від конструктивних параметрів насоса. Відношення фіктивного напору до номінального $H_{\phi}^* = H_{\phi} / H_{ном}$ дає представлення про кут нахилу напірної характеристики насоса. Зазвичай для насосів що перекачують чисту воду $H_{\phi}^* \approx 1,25$, а для насосів, що перекачують стічні води, $H_{\phi}^* \approx 1,45$ [3]

При зниженні швидкості обертання робочого колеса насоса, напір та подача також знижуються. Q-H характеристики будуть мати наступний вигляд (рис. 1.4, а). В залежності від конструкції насоса і всмоктуючого патрубку, на статичних характеристиках в зоні низької продуктивності можуть з'являтися точки екстремумів (рис. 1.4, б) [4].

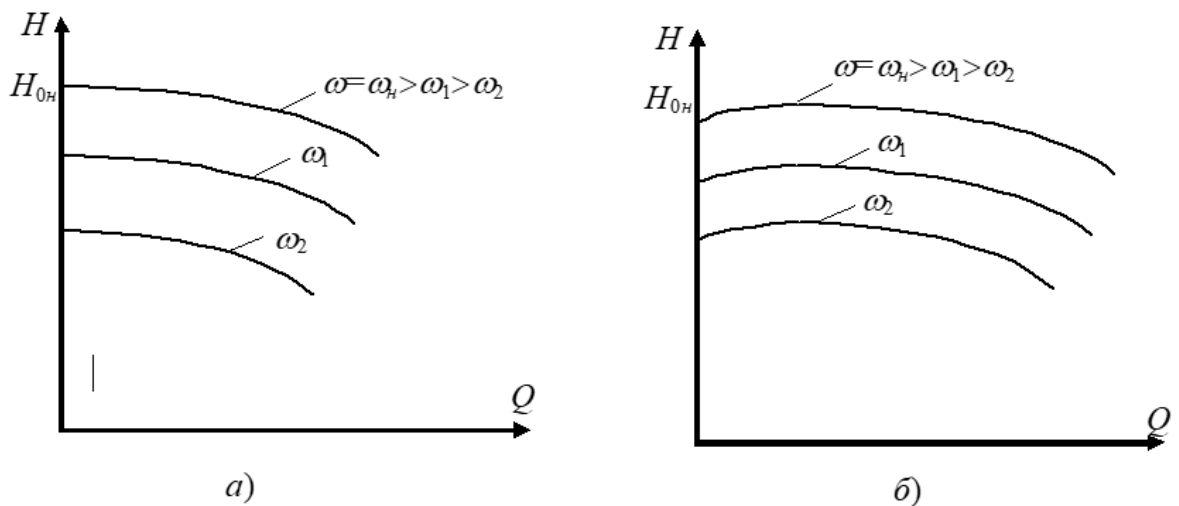


Рисунок 1.4 – Залежність статичних характеристик від зміни швидкості робочого органу насоса.

1.3 Режими роботи насосних установок

Режими роботи насосної установки залежать від зміни водоспоживання. Характер зміни водоспоживання визначається багатьма, незалежними один від одного, причинами: кліматичними і погодними умовами, режимом роботи підприємств та організацій міста і т.д.

Режими роботи насосних установок промислових підприємств визначаються, головним чином, технологічним процесом підприємства. Існують режими водоспоживання і перекачування, аналогічні режимам роботи міських водопровідних та каналізаційних насосних станцій. Насосні установки промислових підприємств можуть працювати і з явно вираженим нічним і денним режимом водоспоживання.

Режими роботи теплофікаційних насосних установок і систем оборотного водопостачання суттєво залежать від температури зовнішнього повітря, а, отже, і від пори року, клімату і подачі.

Режим роботи насосної установки, яка подає воду споживачеві через акумулюючі ємності (резервуар, водонапірну вежу і т. П.), Характерний тим, що в окремі періоди часу подача насосної установки відрізняється від водоспоживання. Якщо подача більше водоспоживання, рівень води в резервуарі піднімається, якщо менше, рівень падає. У разі рівності подачі і водоспоживання рівень в резервуарі стабілізується на одній позначці. В цьому випадку, якщо немає РЕП, водоспоживання і подача насосної установки здійснюється включенням агрегату при зниженні рівня води до заданого нижнього значення і відключенням при досягненні заданого верхнього значення. Потім цикл повторюється

Подача насосних установок, що працюють безпосередньо в мережу без проміжних ємностей, повинна в кожен момент часу дорівнювати водоспоживанню (при відсутності витоків і непродуктивних витрат). Насправді в будь-якій системі подачі води є витoki і непродуктивні витрати,

Режими роботи насосної установки залежать від зміни водоспоживання. Характер зміни водоспоживання визначається багатьма, незалежними один від одного, причинами: кліматичними і погодними умовами, режимом роботи підприємств та організацій міста і т.д.

Режими роботи насосних установок промислових підприємств визначаються, головним чином, технологічним процесом підприємства. Існують режими водоспоживання і перекачування, аналогічні режимам роботи міських водопровідних та каналізаційних насосних станцій. Насосні установки промислових підприємств можуть працювати і з явно вираженим нічним і денним режимом водоспоживання.

Режими роботи теплофікаційних насосних установок і систем оборотного водопостачання суттєво залежать від температури зовнішнього повітря, а, отже, і від пори року, клімату і подачі.

Режим роботи насосної установки, яка подає воду споживачеві через акумулюючі ємності (резервуар, водонапірну вежу і т. П.), Характерний тим, що в окремі періоди часу подача насосної установки відрізняється від водоспоживання. Якщо подача більше водоспоживання, рівень води в резервуарі піднімається, якщо менше, рівень падає. У разі рівності подачі і водоспоживання рівень в резервуарі стабілізується на одній позначці. В цьому випадку, якщо немає РЕП, водоспоживання і подача насосної установки здійснюється включенням агрегату при зниженні рівня води до заданого нижнього значення і відключенням при досягненні заданого верхнього значення. Потім цикл повторюється

Подача насосних установок, що працюють безпосередньо в мережу без проміжних ємностей, повинна в кожен момент часу дорівнювати водоспоживанню (при відсутності витоків і непродуктивних витрат). Насправді в будь-якій системі подачі води є витoki і непродуктивні витрати,

які досягають 15-20% загальної подачі. Отже, подача насосної установки повинна бути трохи більше водоспоживання.

З ростом водоспоживання подачу доводиться збільшувати, відповідно збільшуються втрати напору в трубах. Щоб їх компенсувати, слід збільшити тиск, що розвивається насосною установкою. При зменшенні водоспоживання подача і тиск повинні бути зменшені [5].

1.4 Вибір насосу.

Вибір насосного обладнання - відповідальний етап, від якого залежатимуть як технологічні параметри, так і експлуатаційні якості проекрованої установки. При виборі типу насоса можна виділити три групи критеріїв:

- 1) Технологічні і конструктивні вимоги
- 2) Характер рідини, що перекачується
- 3) Основні розрахункові параметри

Технологічні і конструктивні вимоги:

У деяких випадках вибір насоса може диктуватися будь-якими суворими вимогами по ряду конструктивних або технологічних параметрів. Відцентрові насоси, на відміну від поршневих, можуть забезпечувати рівномірну подачу, в той час як для виконання умов рівномірності на поршковому насосі доводиться значно ускладнювати його конструкцію, розташовуючи на колінчастому валі кілька поршнів, що здійснюють зворотно-поступальні рухи з певним відставанням один від одного. У той же час подача рідини, що перекачується дискретними порціями заданого обсягу також може бути технологічною вимогою. Прикладом визначальних конструктивних вимог може служити використання поглиблених насосів у тих випадках, коли необхідно або єдино можливо розташувати насос нижче рівня рідини, що перекачується.

Характер середовища:

Характеристики середовища, що перекачується часто стає визначальним фактором у виборі насосного обладнання. Різні типи насосів підходять для перекачування найрізноманітніших середовищ, що відрізняються по в'язкості, токсичності, абразивності і т.д. Так гвинтові насоси здатні перекачувати в'язкі середовища з різними включеннями, не пошкоджуючи структуру середовища, і можуть з успіхом застосовуватися в харчовій промисловості для перекачування джемів і паст з різними наповнювачами. Корозійні властивості середовища, що перекачується визначають з якого матеріалу виконується обраний насос, а токсичність середовища - рівень його герметизації.

Основні розрахункові параметри:

Вимоги по експлуатації, що пред'являються різними галузями, можуть задовольняти декілька типів насосів. У такій ситуації перевага віддається тому типу насосів, який найбільш застосований при конкретних значеннях основних розрахункових параметрів (продуктивність, напір і споживана потужність). Нижче наведені таблиці, що в загальних рисах відображають межі застосування найбільш поширених типів насосів [6].

Таблиця 1.1 - Області застосування насосів по створюваному напору

	До 10 м	Від 10 до 100 м	Від 100 до 1000 м	Від 1000 до 10000 м
Одноступінчасті відцентрові	+	+		
Багатоступінчасті відцентрові			+	
Осьові (напір до 20-30 м)	+	+		
Поршневі		+	+	

Гвинтові		+	+	
Плунжерні				+
Вихрові	+	+		

Таблиця 1.2 - Області застосування насосів по продуктивності

	До 10 м ³ /ч	Від 10 до 100 м ³ /ч	Від 100 до 1000 м ³ /ч	Від 1000 до 10000 м ³ /ч
Одноступінчасті відцентрові	+	+	+	
Багатоступінчасті відцентрові			+	+
Осьові			+	+
Поршневі	+	+	+	
Гвинтові	+	+	+	
Плунжерні	+			
Вихрові		+		

Розрахунок буде проводитися для циркуляційного насосу 20-ти поверхового житловому будинку. Для циркуляції води в будинку було обрано відцентровий одноступінчастий насос, оскільки він забезпечує рівномірну подачу носію та підходить по всім параметрам наведеним в таблицях вище.

1.5 Вибір системи керування насосної установки. Технічне порівняння різних систем керування.

Управління насосами та насосними установками в промисловості та побуті здійснюється зазвичай наступними методами:

- Реле тиску

- Термостат
- Дроселювання (засувкою)
- Регульований ЕП

Розглянемо кожен з методів керування більш детально

Реле тиску

Реле тиску є дуже популярним методом автоматизації роботи водопроводу. Чутливий пристрій практично моментально реагує на падіння або підвищення тиску в мережі, запустить і зупинить насосне обладнання без участі людини.

Реле тиску використовуються дуже давно. Вони мають досить просту конструкцію, тому надійні і зручні в експлуатації. Конструкція реле тиску зображена на рис.1.5. Всередині пристрою є гнучка пластина, положення якої змінюється під впливом потоку води. Чим активніше потік, тим більшим буде її вигин.

Цей елемент з'єднаний з двома пружинами, які реагують на зміну положення пластини. В результаті замикаються і розмикаються контакти електричного ланцюга, що спрацьовують на задані користувачем межі тиску. Одна пружина налаштована на максимальне значення тиску в мережі, друга - на різницю між верхнім і нижнім значенням тиску. Зазвичай пристрій підключають до гідроаккумулятори [7].

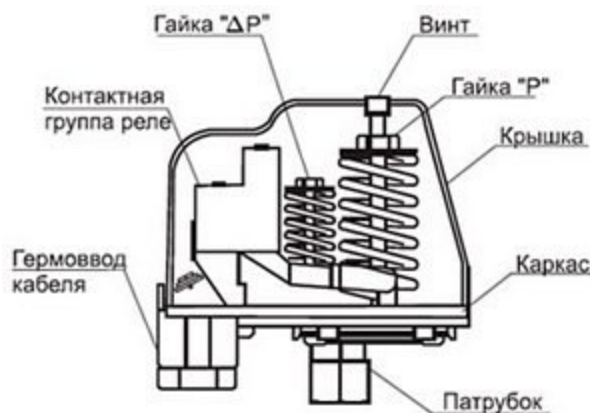


Рисунок 1.5 – Конструкція реле тиску

Коли тиск досягає мінімального показника, встановленого для реле, мембрана всередині гідробака слабшає, контакт під другою пружиною спрацьовує, і насос включається. Поступово тиск наростає, доходить до верхньої межі, після цього розмикається контакт під першою пружиною, що вимикає насос.

Пружини, які керують контактами, забезпечені регулювальними гайками. З їх допомогою можна змінювати ступінь стиснення цих пружин. Щоб забезпечити спрацьовування пристрою при більш високому тиску, їх затягують тугіше, якщо ж потрібно зменшити показники - навпаки, елемент слід послабити.

Недоліком керування насосної установки за допомогою реле тиску є часті включення насоса при активному споживанні води з водопроводу. Тому рекомендується ставити реле тиску в системи де не йде активне використання носія (води або тепла) [7].

Часова діаграма роботи насосу з використанням реле тиску (рис. 1.6):

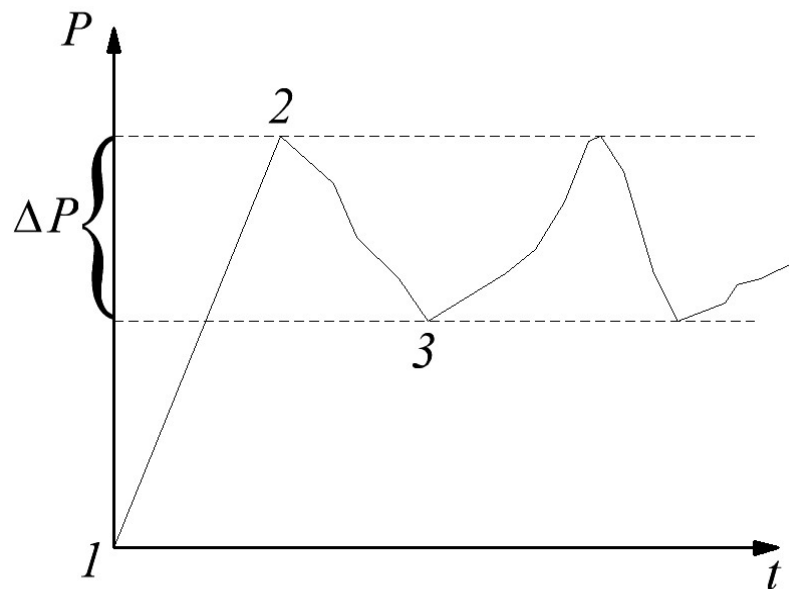


Рисунок 1.6 – часова діаграма тиску в мережі

Точка 1 – початок роботи насосу; точка 2 – реле тиску відключає насос через досягнення максимального заданого значення тиску в водопроводі;

точка 3 – включення насосу через досягнення мінімального заданого значення тиску в водопроводі;

Реле тиску використовують в системах водопостачання з невеликим значенням продуктивності. Для системи опалення даний метод регулювання недоцільний. Також часті включення насосу можуть призводити до гідроударів та більш швидкого виходу з ладу насосного обладнання.

Термостат

Термостат (рис. 1.7) доволі часто використовують для керування технологічним процесом в системі опалення. Даний пристрій, як і реле тиску, простий і надійний. Керування насосом за допомогою термостату допомагає підтримувати температуру теплоносія в системі на заданому рівні.

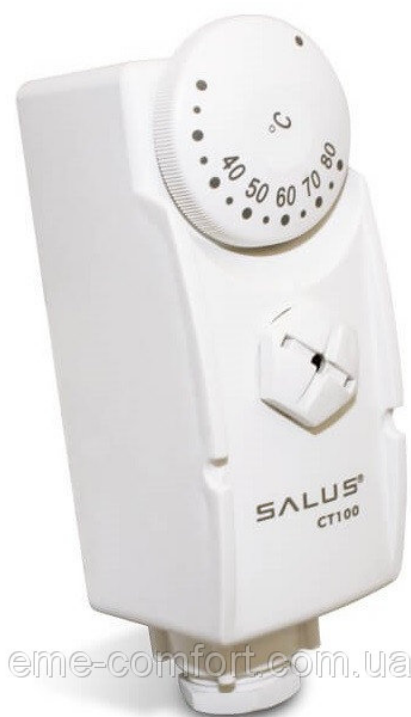


Рисунок 1.7 – Зовнішній вигляд термостату

Споживач вибирає на термостаті потрібний йому діапазон температури. При досягненні теплоносієм певного вищого значення температури, термостат відмикає циркуляційний насос. Далі, при досягненні теплоносієм нижнього значення температури, насос знову вмикається і починає нагрівати систему.

Даний прилад забезпечує дискретне включення насосної установки і тому стає зрозумілим, що він не задовольняє вимогам до системи керування, адже, як і у випадку з реле тиску, виникають часті включенні насосу на повну потужність, що спричиняє гідроудар та швидке зношення насосного обладнання.

Дроселювання засувкою

Регулювання напору води за допомогою засувки є одним з найстаріших і найпопулярніших методів. Даний метод є простим у використанні і недорогим. Дросельну засувку встановлюють в напірному трубопроводі системи. Далі за допомогою зміни кута нахилу засувки в трубопроводі змінюється напір в системі.

Але такий спосіб регулювання не є енергоефективним через те, що насос весь час працює на максимальну свою потужність, а енергія яку він створює робочим органом просто розсіюється на засувці. Також перекриття засувки до певного рівня може спричинити неприйнятний для насосу режим, під час якого в системі виникають сильні вібрації і шуми [3].

Регульований ЕП

В даній дипломній роботі буде розглядатися управління насосної установки опалювальної системи житлового будинку. Вимоги до роботи такої установки є [8]:

- 1) Висока енергоефективність;
- 2) Можливість підтримання тиску/температури в системі на заданому рівні;
- 3) Плавність керування для запобігання гідроударів в мережі.
- 4) Забезпечення можливості регулювання з діапазоном $D=3$;
- 5) Низький рівень шуму та вібрації;
- 6) Довгострокова служба.

Двигун, що керується перетворювачем частоти називають регульованим

електроприводом (РЕП). В насосних установках використовують переважно РЕП змінного струму.

Основою РЕП змінного струму являються асинхронні і синхронні електродвигуни змінного струму.

Частота обертання асинхронного двигуна визначається за формулою:

$$n = \left(60 \frac{f}{p} \right) (1 - s) \quad (1.3)$$

Де f – частота напруги мережі (в СНГ та Європі $f = 50$ Гц; в США та Японії $f = 60$ Гц); p – число пар полюсів двигуна ($p=1, 2, 3, \dots$); s – ковзання.

Синхронні двигуни працюють без ковзання. Ротор двигуна обертаються з такою ж частотою, що й електромагнітне поле статора:

$$n = 60 \frac{f}{p} \quad (1.4)$$

З (2.1) та (2.2) слідує, що частота обертання електродвигуна залежить від частоти струму живлення двигуна f , числа пар полюсів p і ковзання s . Змінюючи один або декілька параметрів можна змінювати частоту обертання двигуна і зчленованого з ним насосу.

Відповідно, РЕП змінного струму підрозділяється на три види:

- частотний привід, який має в своєму складі перетворювач, що змінює постійну частоту живильної електричної мережі ($f = \text{const}$) в змінну ($f = \text{var}$). Він забезпечує плавну зміну частоти обертання насосного агрегату.

- багатошвидкісний привід, який має в своєму складі пристрій, змінює схему обмотки статора електродвигуна і, відповідно, число пар полюсів ($p = 1, 2, 3$ і т.д.). Привід забезпечує ступеневу зміну частоти обертання насосного агрегату (зазвичай $2 \div 4$ ступені).

- РЕП, що має в своєму складі пристрій, що змінює ковзання електродвигуна або варіатора, вбудованого між вихідним валом двигуна і вхідним валом насоса (реостат в роторному ланцюзі двигуна, перетворювач

асинхронного вентиляного каскаду, механічний варіатор, електромагнітна або гідравлічна муфта ковзання).

В сучасних насосних установках найбільшого поширення набув частотний РЕП.

Основним елементом частотного РЕП являється частотний перетворювач, за допомогою якого практично незмінні параметри мережі U_1 та f_1 перетворюються в змінні параметри U_2 і f_2 , необхідні для системи керування насосного агрегату.

Для забезпечення стійкої роботи електродвигуна, обмеження його перенавантажень за струмом і магнітним потоком, підтримання високих енергетичних показників в частотному перетворювачі повинно підтримуватися певне співвідношення між його вхідними та вихідними параметрами, що залежить від виду механічної характеристики насосу. Ці співвідношення витікають з рівняння закону частотного регулювання Костенко:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{f_1}{f_2} \sqrt{\frac{M_1}{M_2}} \quad (1.5)$$

Де f_1, f_2 – частоти, M_1 та M_2 – моменти двигуна.

Для насосів у яких механічна характеристика описується рівнянням квадратичної параболи, повинне дотримуватися співвідношення

$$\frac{U_1}{f_1^2} = \frac{U_2}{f_2^2} = \text{const} \quad (1.6)$$

Для насосів, що працюють з статичним напором повинна виконуватися більш складне співвідношення

$$\frac{U_1}{f_1^{1+\frac{k}{2}}} = \frac{U_2}{f_2^{1+\frac{k}{2}}} = \text{const} \quad (1.7)$$

На практиці в більшості випадків в насосних установках використовуються перетворювачі загальнопромислового виконання, що забезпечують співвідношення:

$$\frac{U_1}{f_1} = \frac{U_2}{f_2} = const \quad (1.8)$$

Останнім часом найбільшого поширення набули частотні РЕП на IGBT-модулях (біполярних транзисторах з ізольованим затвором). IGBT-модуль є високоефективним ключовим елементом. Він володіє малим падінням напруги, високою швидкістю і малою потужністю перемикання [8].

Для регулювання насосної установки в системі опалення необхідно встановити регулятор температури або напору, який буде за допомогою відповідних датчиків аналізувати стан системи і подавати необхідний сигнал по швидкості в частотний перетворювач.

Даний спосіб задовольняє всі вимоги до системи керування та поступається вище наведеним методам лише ціною та складністю реалізації.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1

1. В даному розділі були розглянуті найпопулярніші види насосних установок та методи їх регулювання. Аналіз літератури показав, що стабілізація температури в системі опалення є актуальним і важливим завданням.

2. Були сформульовані вимоги до системи керування насосною установкою і на основі аналізу обрано систему перетворювач частоти – асинхронний електродвигун (ПЧ-АД).

3. Отримані результати дають змогу провести розрахунок та вибір елементів електромеханічної системи (ЕМС).

2 РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ НАСОСУ ТА ВИБІР ПРИВОДНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГУНА

Метою розрахунку елементів електромеханічної системи є майбутня модернізація опалювальної системи житлового будинку, яка наразі керується методом дроселювання засувкою і є неенергоефективною.

2.1 Розрахунок потужності приводного двигуна насосної установки

Розрахунок потужності приводного двигуна одинарної насосної установки здійснюється за формулою:

$$P = \frac{k\rho gQH}{\eta}, \quad (2.1)$$

де ρ – густина рідини, що перекачується; g – прискорення вільного падіння; Q – продуктивність насоса; H – напір; η – сумарний ККД насоса та приводного двигуна; k – коефіцієнт запасу (1,1 – 1,3) [9].

Розрахунок циркуляційного насосу виконується для 20-ти поверхового житлового будинку. Насос за допомогою перекачування теплоносія по замкненому контуру (з котельні на даху через всі поверхи до тепlopункту і назад) забезпечує опалення, вентиляцію та постачання гарячої води.

Продуктивність, яку повинен забезпечувати насос розрахуємо з максимальної теплової потужності, що споживає житловий будинок. Максимальна теплова потужність була розрахована при проектуванні котельної і має значення:

- Опалення – 1,463 МВт;
- Вентиляція – 0,309 МВт;
- Гаряча вода – 1,020 МВт.

За формулою (2.2) розраховуємо продуктивність насосу:

$$Q_n = \frac{P_n}{1.163 \cdot \Delta t} = \frac{1,463 + 0,309 + 1,02}{1.163 \cdot 20} = 120 \text{ м}^3 / \text{год}, \quad (2.2)$$

де Q_n – продуктивність насоса, $\text{м}^3/\text{год}$; P_n – сумарна максимальна потужність, що споживається житловим будинком, МВт; Δt – різниця температури теплоносія на вході і виході котельні (подача та обратка), К; 1,163 – питома теплоємність води, Вт.

Напір, який повинен забезпечувати циркуляційний насос розраховується за наступною формулою (3.3):

$$H_n = N \cdot k = 20 \cdot 1,2 = 24 \text{ м}, \quad (2.3)$$

де N – кількість поверхів житлового будинку, k – усереднені гідравлічні втрати на один поверх будинку.

За допомогою програми підбору насосного обладнання *Vogel Select*, підставивши туди значення вихідної робочої точки для одинарного насосу: $Q = 120 \text{ м}^3 / \text{год}$; $H = 24 \text{ м}$ обираємо насос типу **LM 100-250-1104**. Також у програмі присутні статичні характеристики насосу (рис. 2.1) [10].

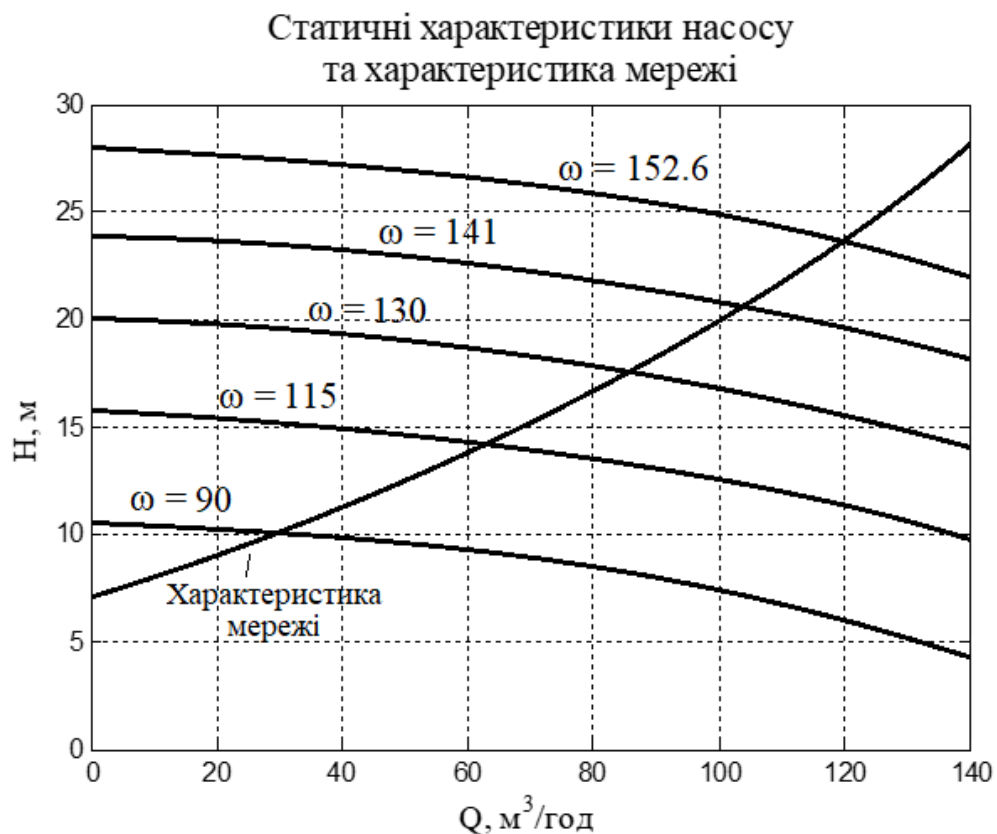


Рисунок 2.1 – Статичні характеристики насосу

Для розрахунку потужності вибираємо значення Q та H при максимальній швидкості ($n=1450$ об/хв) та ККД ($\eta_{\max}=82,9\%$).

Насос перекачує воду, отже в рівнянні (3.1) $\rho = 997$ кг/м³.

Отже, підставляючи отримані данні у формулу (2.1) отримаємо:

$$P = \frac{k\rho gQH}{\eta_{\max}} = \frac{1,1 \cdot 997 \cdot 9,81 \cdot 120 \cdot 24}{3600 \cdot 0,829} = 10,382 \text{ кВт.} \quad (2.4)$$

Згідно отриманому значенню потужності вибираємо асинхронний двигун з короткозамкненим ротором типу **4A132M4Y3**, який має наступні паспортні дані [11]:

Таблиця 2.1. – Паспортні дані асинхронного двигуна типу **4A132M4Y3**

Номінальна потужність	$P_{2n} = 11(\text{кВт})$
Номінальна лінійна напруга статора	$U_{1n} = 380(\text{В})$
Число пар полюсів	$p_n = 2$
Момент інерції	$J_d = 0,04(\text{кг} \cdot \text{м}^2)$
Коефіцієнт корисної дії	$\eta = 0,875$
Коефіцієнт потужності	$\cos \varphi = 0,87$
Перевантажувальна здатність	$\lambda = 3$
Номінальне ковзання	$s_n = 0,028$
Критичне ковзання	$s_k = 0,195$
Номінальна частота напруги статора	$f = 50(\text{Гц})$
Параметри Г-подібної схеми заміщення (відносні одиниці)	
Індуктивний опір розсіювання статора	$\overline{X_1}' = 0,085$
Активний опір статора	$\overline{R_1}' = 0,043$
Приведений індуктивний опір розсіювання ротора	$\overline{X_2}'' = 0,13$
Приведений активний опір ротора	$\overline{R_2}'' = 0,032$
Індуктивний опір намагнічуючого контуру	$\overline{X_\mu} = 3,2$

2.2 Розрахунок номінальних даних двигуна

Кутова частота напруги статора:

$$\omega_{0n} = 2 \cdot \pi \cdot f = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314 (\text{рад} / \text{с}). \quad (2.5)$$

Швидкість ідеального холостого ходу двигуна:

$$\omega_{xx} = \frac{\omega_{0n}}{p_n} = \frac{314}{2} = 157 (\text{рад} / \text{с}). \quad (2.6)$$

Номінальна швидкість двигуна:

$$\omega_n = \omega_{xx} (1 - s_n) = 157 (1 - 0,028) = 152,6 (\text{рад} / \text{с}). \quad (2.7)$$

Номінальний момент двигуна:

$$M_n = \frac{P_{2n}}{\omega_n} = \frac{11000}{152,6} = 72,1 (\text{Н} \cdot \text{м}). \quad (2.8)$$

Критичний момент двигуна (по перевантажувальній здатності λ з каталогу):

$$M_k = \lambda \cdot M_n = 3 \cdot 72,1 = 216,3 (\text{Н} \cdot \text{м}). \quad (2.9)$$

Номінальні діючі значення фазної напруги та струму статора:

$$U_n = U_{1n} / \sqrt{3} = 380 / \sqrt{3} = 220 (\text{В}), \quad (2.10)$$

$$I_n = \frac{P_{2n}}{3 \cdot U_n \cdot \eta \cdot \cos \varphi} = \frac{11000}{3 \cdot 220 \cdot 0,875 \cdot 0,87} = 21,89 (\text{А}). \quad (2.11)$$

Амплітудні значення фазної напруги і струму статора:

$$\begin{aligned} U_{na} &= \sqrt{2} \cdot U_n = \sqrt{2} \cdot 220 = 311 (\text{В}), \\ I_{na} &= \sqrt{2} \cdot I_n = \sqrt{2} \cdot 21,89 = 30,96 (\text{А}). \end{aligned} \quad (2.12)$$

Амплітудне значення потокозчеплення статора в режимі холостого ходу при $R_1 = 0$:

$$\psi_{1XX} = \frac{U_{na}}{\omega_{0n}} = \frac{311}{314} = 0,99 (\text{Вб}). \quad (2.13)$$

2.3 Розрахунок параметрів Т-подібної схеми заміщення

Перерахунок параметрів з Г-подібної схеми в Т-подібну відбувається наступним чином:

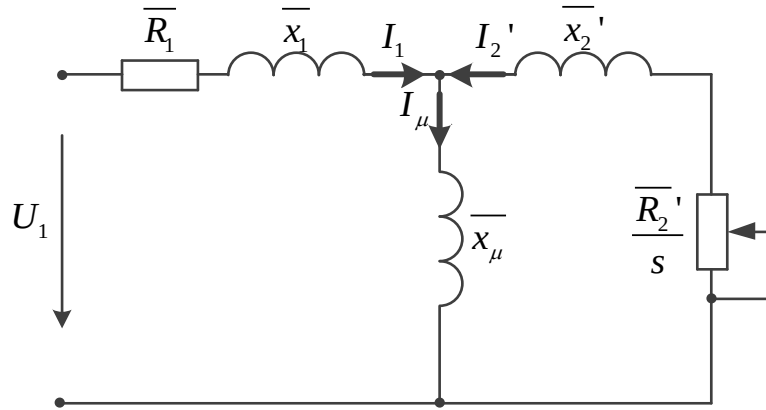


Рисунок 2.2 - Т-подібна схема заміщення асинхронного двигуна

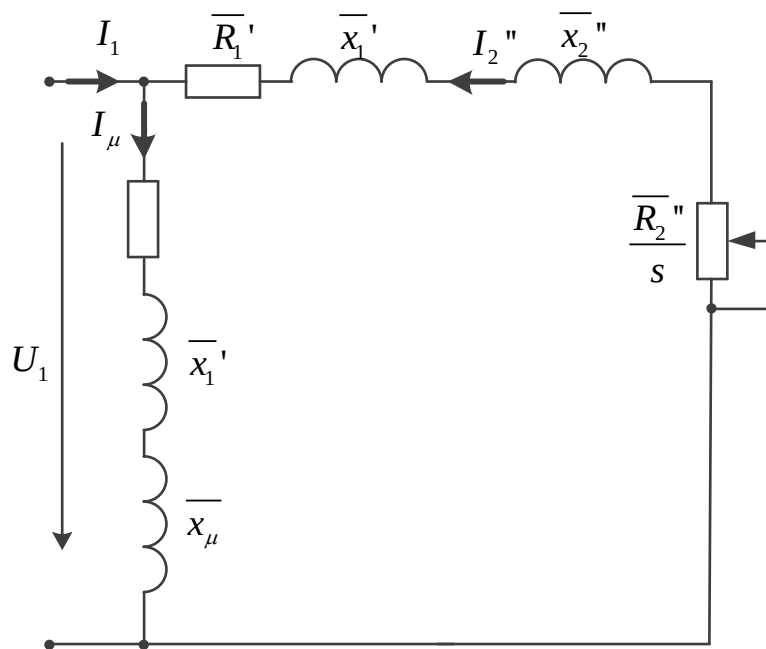


Рис.2.3. Г-подібна схема заміщення асинхронного двигуна

Коефіцієнт перерахунку між Т-подібною та Г-подібною схемами заміщення:

$$c_1 = \frac{\overline{X}_\mu + \sqrt{\overline{X}_\mu^2 + 4 \cdot \overline{X}_1' \cdot \overline{X}_\mu}}{2 \cdot \overline{X}_\mu} = \frac{3,2 + \sqrt{(3,2)^2 + 4 \cdot 0,085 \cdot 3,2}}{2 \cdot 3,2} = 1,025. \quad (2.14)$$

Параметри Т-подібної схеми заміщення у відносних одиницях:

$$\overline{X_1} = \frac{\overline{X_1}'}{c_1} = \frac{0,085}{1,025} = 0,083, \quad (2.15)$$

$$\overline{R_1} = \frac{\overline{R_1}'}{c_1} = \frac{0,043}{1,025} = 0,041, \quad (2.16)$$

$$\overline{X_2}' = \frac{\overline{X_2}''}{c^2} = \frac{0,13}{(1,025)^2} = 0,124, \quad (2.17)$$

$$\overline{R_2}' = \frac{\overline{R_2}''}{c^2} = \frac{0,032}{(1,025)^2} = 0,030. \quad (2.18)$$

Параметри Т-подібної схеми заміщення в абсолютних одиницях запишуться:

$$X_1 = \overline{X_1} \frac{U_n}{I_n} = 0,083 \cdot \frac{220}{21,89} = 0,834(Ом), \quad (2.19)$$

$$R_1 = \overline{R_1} \frac{U_n}{I_n} = 0,041 \cdot \frac{220}{21,89} = 0,412(Ом), \quad (2.20)$$

$$X_2' = \overline{X_2}' \frac{U_n}{I_n} = 0,124 \cdot \frac{220}{21,89} = 1,246(Ом), \quad (2.21)$$

$$R_2 = \overline{R_2}' \frac{U_n}{I_n} = 0,03 \cdot \frac{220}{21,89} = 0,3(Ом), \quad (2.22)$$

$$X_\mu = \overline{X_\mu} \frac{U_n}{I_n} = 3,2 \cdot \frac{220}{21,89} = 32,16(Ом). \quad (2.23)$$

Індуктивності розсіювання статора і ротора:

$$L_{1\sigma} = \frac{X_1}{\omega_0} = \frac{0,834}{314} = 0,0026(Гн), \quad (2.24)$$

$$L_{2\sigma} = \frac{X_2'}{\omega_0} = \frac{1,246}{314} = 0,004(Гн). \quad (2.25)$$

Індуктивність намагнічуючого контуру:

$$L_m = \frac{X_\mu}{\omega_0} = \frac{32,16}{314} = 0,1024(Гн). \quad (2.26)$$

Індуктивності статора і ротора:

$$\overline{X_1} = \frac{\overline{X_1}'}{c_1} = \frac{0,085}{1,025} = 0,083, \quad (2.15)$$

$$\overline{R_1} = \frac{\overline{R_1}'}{c_1} = \frac{0,043}{1,025} = 0,041, \quad (2.16)$$

$$\overline{X_2}' = \frac{\overline{X_2}''}{c^2} = \frac{0,13}{(1,025)^2} = 0,124, \quad (2.17)$$

$$\overline{R_2}' = \frac{\overline{R_2}''}{c^2} = \frac{0,032}{(1,025)^2} = 0,030. \quad (2.18)$$

Параметри Т-подібної схеми заміщення в абсолютних одиницях запишуться:

$$X_1 = \overline{X_1} \frac{U_n}{I_n} = 0,083 \cdot \frac{220}{21,89} = 0,834(Ом), \quad (2.19)$$

$$R_1 = \overline{R_1} \frac{U_n}{I_n} = 0,041 \cdot \frac{220}{21,89} = 0,412(Ом), \quad (2.20)$$

$$X_2' = \overline{X_2}' \frac{U_n}{I_n} = 0,124 \cdot \frac{220}{21,89} = 1,246(Ом), \quad (2.21)$$

$$R_2 = \overline{R_2}' \frac{U_n}{I_n} = 0,03 \cdot \frac{220}{21,89} = 0,3(Ом), \quad (2.22)$$

$$X_\mu = \overline{X_\mu} \frac{U_n}{I_n} = 3,2 \cdot \frac{220}{21,89} = 32,16(Ом). \quad (2.23)$$

Індуктивності розсіювання статора і ротора:

$$L_{1\sigma} = \frac{X_1}{\omega_0} = \frac{0,834}{314} = 0,0026(Гн), \quad (2.24)$$

$$L_{2\sigma} = \frac{X_2'}{\omega_0} = \frac{1,246}{314} = 0,004(Гн). \quad (2.25)$$

Індуктивність намагнічуючого контуру:

$$L_m = \frac{X_\mu}{\omega_0} = \frac{32,16}{314} = 0,1024(Гн). \quad (2.26)$$

Індуктивності статора і ротора:

$$L_1 = L_m + L_{1\sigma} = 0,1024 + 0,0026 = 0,105(\Gamma\text{H}), \quad (2.27)$$

$$L_2 = L_m + L_{2\sigma} = 0,1024 + 0,004 = 0,1064(\Gamma\text{H}). \quad (2.28)$$

На основі проведених розрахунків обчислюємо значення параметрів $\alpha, \alpha_1, \beta, \gamma, \sigma, \mu_1$:

$$\alpha = \frac{R_2}{L_2} = \frac{0,3}{0,1064} = 2,819(\text{Ом} / \Gamma\text{H}), \quad (2.29)$$

$$\alpha_1 = \frac{R_1}{L_1} = \frac{0,412}{0,105} = 3,923(\text{Ом} / \Gamma\text{H}), \quad (2.30)$$

$$\sigma = L_1 \left(1 - \frac{L_m^2}{L_1 \cdot L_2}\right) = 0,105 \left(1 - \frac{(0,1024)^2}{0,105 \cdot 0,1064}\right) = 0,0064(\Gamma\text{H}), \quad (2.31)$$

$$\beta = \frac{L_m}{L_2 \cdot \sigma} = \frac{0,1024}{0,1064 \cdot 0,0064} = 150,376(1 / \Gamma\text{H}), \quad (2.32)$$

$$\begin{aligned} \gamma &= \frac{R_1}{\sigma} + \alpha \cdot L_m \cdot \beta = \\ &= \frac{0,412}{0,0064} + 2,819 \cdot 0,1024 \cdot 150,376 = 107,783(\text{Ом} / \Gamma\text{H}), \end{aligned} \quad (2.33)$$

$$\mu_1 = \frac{3}{2} \cdot \frac{L_m}{L_2} = \frac{3}{2} \cdot \frac{0,1024}{0,1064} = 1,44. \quad (2.34)$$

Таблиця 2.2 - Параметри двигуна 4A132M4Y3

$P_{2n}, (\text{кВт})$	11	$R_1, (\text{Ом})$	0,412
$\omega_{xx}, (\text{рад} / \text{с})$	157	$R_2, (\text{Ом})$	0,3
$\omega_n, (\text{рад} / \text{с})$	152,6	$L_1, (\Gamma\text{H})$	0,105
$M_n, (\text{Н} \cdot \text{м})$	72,1	$L_2, (\Gamma\text{H})$	0,1064
$M_k, (\text{Н} \cdot \text{м})$	216,3	$L_m, (\Gamma\text{H})$	0,1024
λ	3	$\alpha, (\text{Ом} / \Gamma\text{H})$	2,819

Продовження таблиці 2.2 - Параметри двигуна 4A132M4Y3

$I_{na}, (A)$	21,89	$\alpha_1, (Ом / Гн)$	3,923
$\psi_{1XX}, (Вб)$	0,99	$\sigma, (Гн)$	0,0064
η	0,875	$\beta, (1 / Гн)$	150,376
$\cos \varphi$	0,87	$\gamma, (Ом / Гн)$	107,783
$J_d, (кг \cdot м^2)$	0,04	μ_1	1,44

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2

1. В процесі розрахунку було здійснено вибір необхідного для забезпечення об'єкту потрібним напором та подачею насос LM 100-250-1104. В якості приводного двигуна було обрано ЕД типу 4А132М4У3 потужністю 11 кВт і виконано розрахунок його додаткових параметрів.

2. На основі отриманих результатів можна провести розрахунок елементів перетворювального пристрою та забезпечити формування математичної моделі ЕМС.

З РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР ПЕРЕТВОРЮВАЧА ЧАСТОТИ ТА ВИБІР ЕЛЕМЕНТІВ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ

Дослідивши технічні характеристики найвпливовіших світових виробників сучасних частотних перетворювачів для турбомеханізмів, сформовано загальні вимоги, які ставляться споживачем до сучасних асинхронних електроприводів [12]:

3) Алгоритм частотного керування U/f^2 .

4) Можливість підключення фотоімпульсного датчика швидкості.

5) Забезпечення наступних мінімальних інтерфейсних можливостей:

- дискретних гальванічно-розв'язаних входів.
- аналогові входи $0...10\text{ В}$ – 1 канал, $4...20\text{мА}$ – 1 канал.
- аналоговий вихід $0...10\text{ В}$ – 1 вихід.
- виходів релейного типу – 2
- гальванічно розв'язані інтерфейси зв'язку з системами верхнього рівня RS-485, CAN.

Функціональна схема сучасного електроприводу змінного струму, побудованого на основі перетворювача частоти з ланкою постійного струму з приведена на рис. 3.1.

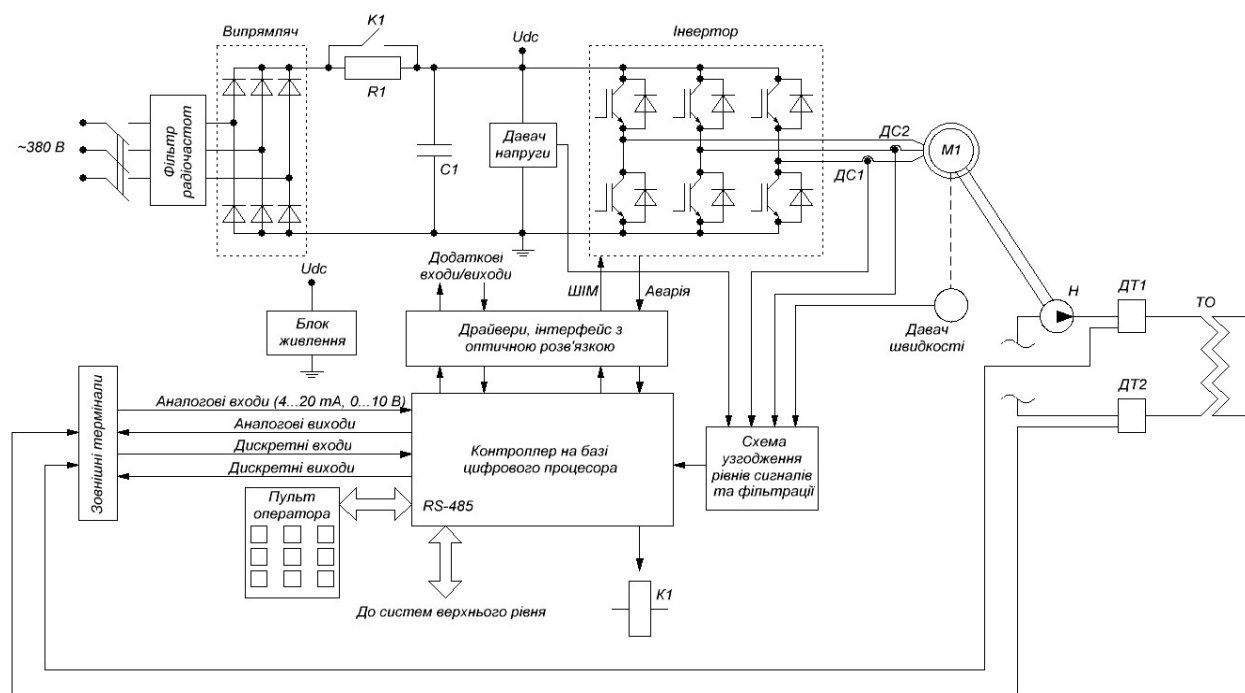


Рисунок 3.1 – Функціональна схема асинхронного електроприводу

Основними елементами, що зображені на функціональній схемі є [14]:

Фільтр – виконує дві основні функції: захист від високочастотних перешкод, які з’являються внаслідок частого замикання напівпровідникових ключів, і від перенапруг в ланцях постійного струму, які спричинені сплесками напруги мережі.

Випрямляч – використовується для того щоб хвилясту напругу переделать в постійну, щоб вона була постійною.

Ємність C – це частина схеми де є ємність для демфування вхідної напруги під час запуску електроприводу.

Датчик напруги – дає зрозуміти контролеру чи є в системі частотного перетворювача аварії по напрузі, а також використовується для алгоритму векторного керування оскільки його значення входить в рівняння динаміки алгоритму.

Інвертор – навідміну від випрямляча, даний прилад виконує роль перетворення постійної напруги ланки постійного струму в змінну напругу

ніобхідної амплітуди та частоти, яку визначає контролер в залежності від сигналів різних датчиків які знаходяться в системі.

Давачі струму – прилади, які використовуються в електроприводах турбомеханізмів виключно для заисної функції. В алгоритмі векторного керування дані показники формують керуючу дію, оскільки входять до рівнянь алгоритму.

Датчики температури ДТ1, ДТ2 – призначені для передачі в керуючий контролер інформації про значення температур теплоносія прямої та зворотної подачі для подальшого керування технологічним процесом. Датчики видають аналоговий сигнал 0...10 В, що відповідає нижній та верхній межі вимірювання температури.

Драйвери – елементи, що підсилюють сигнали, що виходять з керуючого кнтролеру, для забезпечення нормальної роботи з силовою частиною електроприводу. Також вони виконують захисну функцію транзисторного модулю.

Керуючий контролер – головний мозок в системі, який керує всім технологічним процесом. Контролер приймає інформацію всіх датчиків, обробляє її і створює за заданими схемами певні керуючі сигнали.

3.1 Розрахунок елементів перетворювального пристрою

Далі з таблиці певної 2.1 беремо дані і за формулами, які потраплять в антиплагіат розраховуємо осовні елементи електромеханічної системи.

Номінальні діючі значення фазної напруги та струму статора та їх амплітудні значення були розраховані раніше.

$$I_{\max} = k_{ovl} I_{na} = 1,2 \cdot 30,96 = 37,15(A). \quad (3.1)$$

Таким чином

$$U_{ce} = 1,5 \cdot 750 = 1125(B). \quad (3.3)$$

$$I_c > I_{max}, U_{ce max} > U_{ce}, \quad (3.4)$$

$$C = \frac{1}{2\pi k_p m f R_0}, \quad (3.5)$$

$$I_{dc} = \frac{k_{ovl} P_n}{U_{dcn} \eta \eta_{inv}} = \frac{1,2 \cdot 11000}{540 \cdot 0,875 \cdot 0,96} = 29 \text{ (A)}, \quad (3.6)$$

$$R_0 = \frac{U_{dcn}}{I_{dc}} = \frac{540}{29} = 18,6 \text{ (Ом)}. \quad (3.7)$$

$$C = \frac{1}{2\pi \cdot 0,04 \cdot 3 \cdot 50 \cdot 18,6} = 1426,8 \text{ (мкФ)} \quad (3.8)$$

$$C_{12} = \frac{C_c}{3} = \frac{4500}{3} = 1500 \text{ (мкФ)}. \quad (3.9)$$

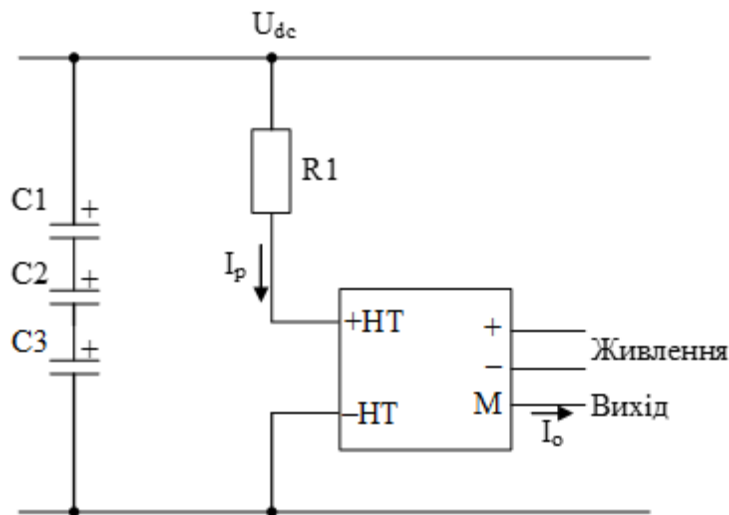


Рисунок 3.2 – Підключення датчика напруги

3.2 Вибір перетворювача частоти

Відповідно до розрахованого значення електричної потужності електродвигуна, обираємо перетворювач частоти фірми Danfoss типу 132F0058VLT з номінальною потужністю 11 кВт, який має паспортні дані, наведені у таблиці 3.1 [15].

Таблиця 3.1. – Паспортні дані перетворювача частоти

Номінальна потужність	$P_{2H} = 11 \text{ кВт}$
Номінальна лінійна напруга статора	$U_{\text{ЛН}} = 380 \text{ В}$
Кількість фаз / напруга на вході	3-ф/380 В
Кількість фаз / напруга на виході	3-ф/380 В
Коефіцієнт корисної дії	$\eta = 0,98$

3.3 Вибір датчиків

Датчики температури є зовнішні, що кріпляться на поверхню трубопроводу, та занурювальні, які вмонтовуються безпосередньо в середину трубопроводу. Занурювальні датчики мають більшу точність та швидкодію, але дуже складні в монтуванні.

Оскільки в система опалення не потребує великої точності виміру температури, обираємо накладний датчик температури Honeywell VF20A [16].

Таблиця 3.2. – Паспортні дані датчика температури

Тип датчику	Накладний, двухпровідний
Вимірювальний елемент	NTC 20 кОм
Температурний діапазон	0...+110 °C
Клас захисту	IP 30
Вихідний сигнал	4 – 20 мА

Виберемо енкодер фірми Line Driver, який буде забезпечувати зворотній зв'язок за швидкістю. Оптичний енкодер с з двома каналами сигналів з робочою зоною частоти в 100 Гц і розподільчою здатністю 1024 імпульси на оберт [17].

Розрахунок кутової швидкості відбувається наступним чином. Обчислюється кількість імпульсів N за 1 с. Далі вираховується кількість обертів ротора за 1 с за формулою:

$$n = \frac{N}{1024}, \quad (3.11)$$

де n (об/с) - кількість обертів ротора за 1 с, 1024 – розподільча здатність енкодера, N – кількість імпульсів за 1 с.

4 СИНТЕЗ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

Для дослідження динамічних властивостей розрахованої системи необхідно побудувати її математичну модель, що складається з наступних частин:

- 1) Насос;
- 2) Асинхронний двигун з ЧП;
- 3) Регулятор швидкості;
- 4) Функціональний блок регулювання температури;

4.1 Математична модель насосної установки

Відцентрова насосна установка – це складна багатопараметрична нелінійна електромеханічна система, в якій відбуваються електричні, механічні та гідравлічні процеси. Поки що немає точного математичного опису системи відцентрової насосної установки, який би детально враховував всі гідромеханічні явища. Диференційні рівняння насосної установки наведені в рівняннях нижче [18]:

- нелінійним диференційним рівнянням першого порядку:

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{H_{0н}}{\chi\omega_n^2} \omega^2 - \frac{H_{ст}}{\chi} - \frac{1}{\chi}(a_n + a)Q^2; \quad (4.1)$$

- рівнянням, що визначає напір насосу,

$$H = \frac{H_{0н}}{\chi\omega_n^2} \omega^2 - a_n Q^2; \quad (4.2)$$

- рівнянням моменту навантаження привідного двигуна

$$M_c = \frac{\rho g Q H}{\eta_{нас} \omega} \quad (4.3)$$

Математична модель насосної установки була створена з подібністю між колами електричним і гідравлічним. Таким чином математичну модель можливо представити у вигляді схеми заміщення, яка представлена на рис. 4.1.

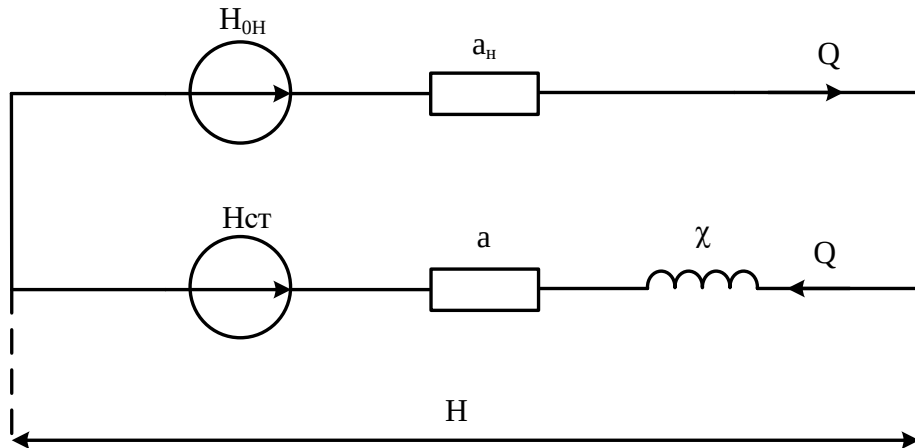


Рисунок 4.1 – Еквівалентна схема заміщення насоса з гідравлічною мережею

Структурна схема насосної установки, побудована по рівнянням (4.1) – (4.3), показана на рис. 4.2.

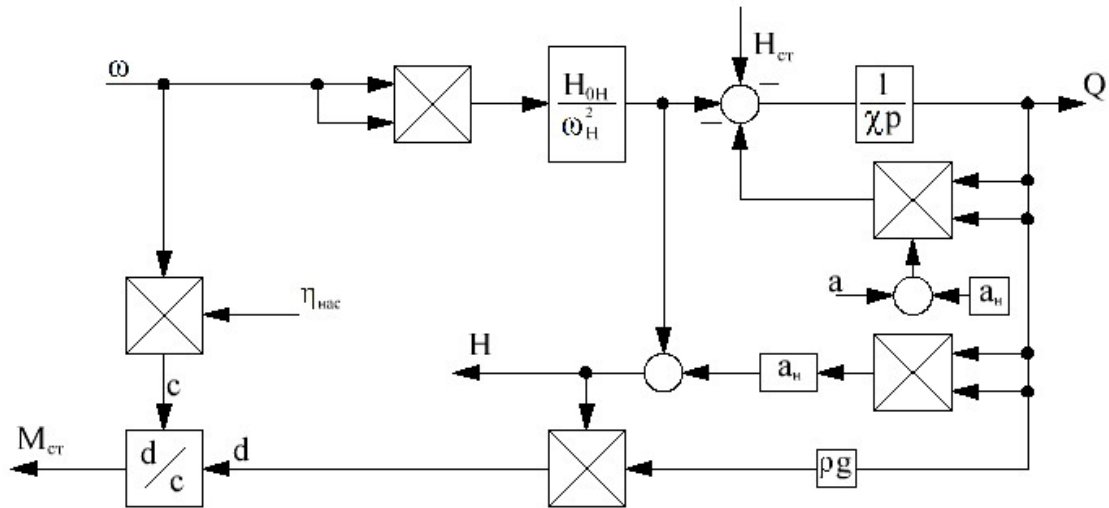


Рисунок 4.2 – Структурна схема одинарної насосної установки

4.2 Математична модель асинхронного двигуна

Математична модель АД у координатах статора (a-b) в просторі , виражається рівняннями [19], [20]:

$$\dot{\theta} = \omega, \quad (4.4)$$

$$\dot{\omega} = \frac{1}{J} \cdot (M - M_c), \quad (4.5)$$

де ω – кутова швидкість ($рад/с$); J – момент інерції двигуна ($кг/м^2$); M – момент двигуна ($Н \cdot м$); M_c – момент навантаження на валу двигуна ($Н \cdot м$); θ – кут повороту вала двигуна.

$$M = \frac{3}{2} \cdot \frac{L_m}{L_2} \cdot p \cdot (\psi_{2a} \cdot i_{1b} - \psi_{2b} \cdot i_{1a}), \quad (4.6)$$

де ψ_{2a}, ψ_{2b} – компоненти вектора потокозчеплення ротора ($Вб$); i_{1a}, i_{1b} – компоненти вектора струму статора (A);

$$\dot{i}_{1a} = -\gamma \cdot i_{1a} + \alpha \cdot \beta \cdot \psi_{2a} + \beta \cdot p_n \cdot \psi_{2b} \cdot \omega + \frac{1}{\sigma} \cdot u_a, \quad (4.7)$$

$$\dot{i}_{1b} = -\gamma \cdot i_{1b} + \alpha \cdot \beta \cdot \psi_{2b} - \beta \cdot p_n \cdot \psi_{2a} \cdot \omega + \frac{1}{\sigma} \cdot u_b, \quad (4.8)$$

$$\dot{\psi}_{2a} = -\alpha \cdot \psi_{2a} - p_n \cdot \psi_{2b} \cdot \omega + \alpha \cdot L_m \cdot i_{1a}, \quad (4.9)$$

$$\dot{\psi}_{2b} = -\alpha \cdot \psi_{2b} + p_n \cdot \psi_{2a} \cdot \omega + \alpha \cdot L_m \cdot i_{1b}, \quad (4.10)$$

де $\alpha = \frac{R_2}{L_2}, \beta = \frac{L_m^2}{L_2 \cdot \sigma}, \sigma = L_1 \cdot (1 - \frac{L_m^2}{L_1 \cdot L_2}), \gamma = \frac{R_1}{\sigma} + \alpha \cdot L_m \cdot \beta$ – коефіцієнти, які

враховуються параметри двигуна; R_1 і R_2 – активні опори обмоток статора і ротора відповідно; L_1 і L_2 – індуктивні опори обмоток статора і ротора відповідно; L_m – індуктивний опір взаємоіндукції обмоток статора і ротора; p_n – число пар полюсів.

4.3 Синтез регулятора швидкості

За умови ненасиченості магнітного ланцюга двигуна і симетричності фаз найчастіше використовують еквівалентну двофазну модель двигуна у векторній формі. Але найбільш спрощену модель можна отримати при лінеаризації робочої ділянки механічної характеристики. При цьому передатна

функція регульованого двигуна може бути записана у вигляді аперіодичної ланки:

$$W(p) = \frac{M_d}{\omega_0 - \omega} = \frac{\beta}{T_E \cdot p + 1}, \quad (4.11)$$

де β - модуль жорсткості, T_E - електромагнітна стала часу двигуна.

В даному випадку вихідною координатою є момент на валу двигуна, тобто двигун розглядається в якості джерела моменту. У цьому випадку момент інерції самого двигуна доцільно віднести до передавального пристрою ЕП. Це дозволяє забезпечити зручність в узгодженні математичної моделі двигуна і технологічного об'єкта. Якщо доповнити передаточну функцію двигуна ланкою, що пов'язує керуючий вплив, в нашому випадку, частоту, з різницею, а також передатної функції механічної частини у вигляді одномасової схеми, то отримаємо структурну схему асинхронного двигуна. А при доповненні цієї схеми передатною функцією перетворювача частоти, яка може бути представлена у вигляді:

$$W_{ПЧ}(p) = \frac{K_{ПЧ}}{T_{\mu} \cdot p + 1}, \quad (4.12)$$

отримаємо наступну структурну схему об'єкта регулювання контуру швидкості (рис.4.3)

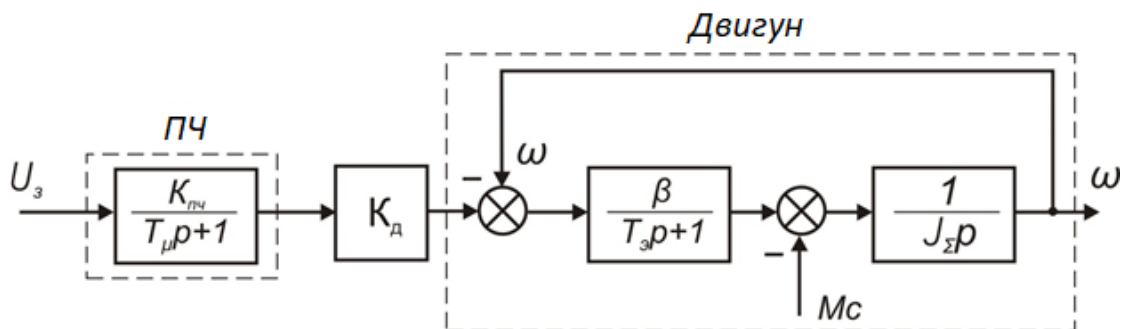


Рисунок 4.3 – Структурна схема об'єкта регулювання

Розрахуємо параметри передатних функцій даної структурної схеми.

Передатна функція ПЧ :

$$W_{ПЧ}(p) = \frac{K_{ПЧ}}{T_{\mu} \cdot p + 1} = \frac{5}{0,01 \cdot p + 1}, \quad (4.13)$$

де $K_{ПЧ} = \frac{f_H}{U_3} = \frac{50}{10} = 5$ - коефіцієнт підсилення ПЧ; U_3 - напруга завдання;

$T_{\mu} = 0,01$ с - некомпенсована стала часу ПЧ [21].

Інші параметри схеми: ω_{0H} - номінальна швидкість ідеального холостого ходу; p - число пар полюсів обмотки статора; T_E - електромагнітна стала часу двигуна; ω_H - номінальна швидкість двигуна; M_H - номінальний момент двигуна; β - модуль статичної жорсткості; J_M - момент інерції механізму; T_M - електромеханічна стала двигуна; M_c - момент навантаження; k_D - коефіцієнт передачі двигуна.

Параметри передаточних функцій ланок структурної схеми (рис.4.3) визначимо за наступними співвідношеннями:

$$K_D = \frac{2\pi}{p}; \quad T_E = \frac{1}{\omega_{0эл.н} \cdot s_{к.н}}; \quad \beta = \frac{M_H}{\omega_{0H} - \omega_H}; \quad J_{\Sigma} = J_D + \frac{J_M^2}{i^2},$$

Визначимо параметри структурної схеми по наступних співвідношеннях:

$$T_E = \frac{1}{\omega_{0эл.н} \cdot s_{к.н}} = \frac{1}{314 \cdot 0.195} = 0.016 \text{ с}; \quad (4.14)$$

$$\beta = \frac{M_H}{\omega_{xx} - \omega_H} = \frac{72.1}{157 - 152.6} = 16.36 \text{ Нм} \cdot \text{с}; \quad (4.15)$$

Згідно з даними отриманими в розділі 2:

$$J_{\Sigma} \approx 0.8 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad (4.16)$$

Звідки електромеханічна стала часу та коефіцієнт передачі двигуна дорівнюють

$$T_M = \frac{J_{\Sigma}}{\beta} = \frac{0.8}{16.36} = 0.05 \text{ с}; \quad (4.17)$$

$$K_D = \frac{2 \cdot \pi}{p} = \frac{2 \cdot 3.14}{2} = 3.14. \quad (4.18)$$

Розробка системи регулювання швидкості з урахуванням внутрішнього зворотного зв'язку за швидкістю.

З метою отримання необхідних динамічних властивостей системи використовуємо контур регулювання із зворотним зв'язком по швидкості.

Коефіцієнт зворотного зв'язку по швидкості:

$$K_{\omega} = \frac{U_3}{1,3 \cdot \omega_H} = \frac{10}{1,3 \cdot 152,6} = 0,05 \text{ В} \cdot \text{с} \quad (4.19)$$

Таким чином, узагальнена структурна схема частотного регулювання (рис. 4.4) буде мати такий вигляд:

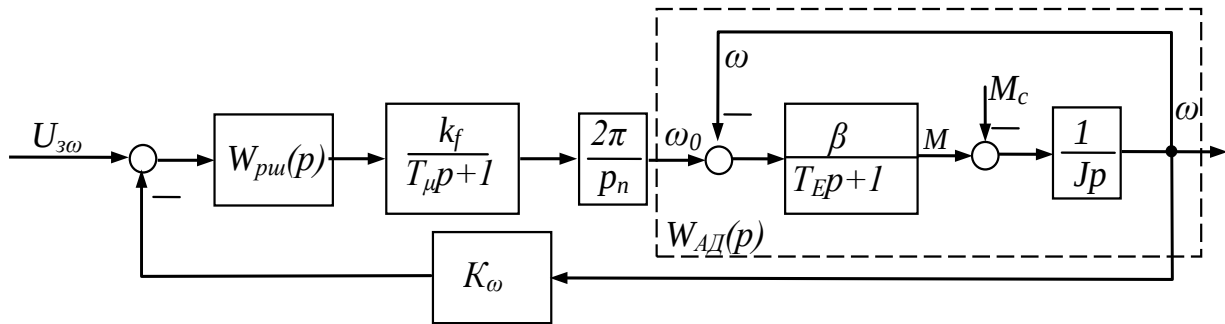


Рисунок 4.4 – Структурна схема електроприводу при частотному керуванні

Передаточна функція двигуна:

$$\begin{aligned} W_D(p) &= \frac{\frac{\beta \cdot K_D}{J_{\Sigma} \cdot p \cdot (T_E \cdot p + 1)}}{1 + \frac{\beta}{J_{\Sigma} \cdot p \cdot (T_E \cdot p + 1)}} = \frac{\beta \cdot K_D}{J_{\Sigma} \cdot T_E \cdot p^2 + J_{\Sigma} \cdot p + \beta} = \\ &= \frac{K_D}{T_M \cdot T_E \cdot p^2 + T_M \cdot p + 1} = \\ &= \frac{3,14}{0,05 \cdot 0,016 \cdot p^2 + 0,05 \cdot p + 1} = \frac{3,14}{0,0008 \cdot p^2 + 0,05 \cdot p + 1}. \end{aligned} \quad (4.20)$$

Структурна схема контуру регулювання швидкості представлена на рис.4.5.

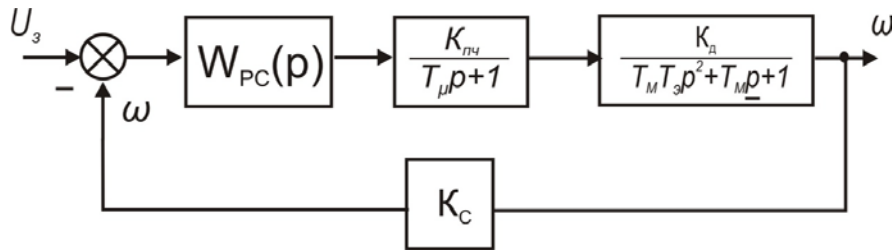


Рисунок 4.5 – Структурна схема контуру регулювання швидкості

Звідси передатна функція об'єкта регулювання за швидкістю буде:

$$\begin{aligned}
 W_{ОРШ}(p) &= \frac{K_{ПЧ} \cdot K_{Д}}{(T_{\mu} \cdot p + 1) \cdot (T_M \cdot T_{Э} \cdot p^2 + T_M \cdot p + 1)} = \\
 &= \frac{5 \cdot 3.14}{(0.01 \cdot p + 1) \cdot (0.05 \cdot 0.016 \cdot p^2 + 0.05 \cdot p + 1)} = \\
 &= \frac{15.7}{(0.01 \cdot p + 1) \cdot (0.0008 p^2 + 0.05 \cdot p + 1)}.
 \end{aligned} \tag{4.21}$$

Визначимо передаточну функцію регулятора швидкості:

$$W_{РШ}(p) = \frac{W_{РОЗ.Ш}(p)}{W_{ОРШ}(p)} = \frac{T_M \cdot T_{Э} \cdot p^2 + T_M \cdot p + 1}{T_U \cdot p} = \frac{0.0008 \cdot p^2 + 0.05 \cdot p + 1}{4.725 \cdot p} \tag{4.22}$$

де $T_U = a_c \cdot K_{\omega} \cdot K_{ПЧ} \cdot K_{Д} \cdot T_M = 2 \cdot 0.05 \cdot 5 \cdot 3.14 \cdot 0.05 = 0.0785$ с ,

де $a_c = 2$ - коефіцієнт демпфування контуру швидкості; дане значення відповідає оптимальному за швидкодією перехідному процесу.

Після перетворень отримуємо передаточну функцію ПІ-регулятора швидкості:

$$W_{РШ}(p) = 0.0008 \cdot p + 0.05. \tag{4.23}$$

4.4 Синтез функціонального блоку регулювання температури

Завданням функціонального блоку являється перетворення сигналу з датчиків температури в сигнал заданої швидкості, який відправляється в керуючий контролер частотного перетворювача. Необхідно підтримувати

різницю температур прямої та зворотної подач на заданому рівні $\Delta t = 20^\circ\text{C}$ для забезпечення найбільш оптимального по енергоефективності технологічного процесу. Різниця температур пов'язана з продуктивністю насоса Q та тепловою потужністю, що споживає житловий будинок P_n співвідношенням (4.24):

$$Q = \frac{P_n}{k_{TO} \cdot \Delta t}, \quad (4.24)$$

де $k_{TO} = 1.163$ – коефіцієнт теплообміну в теплообміннику.

При незмінному номінальному Q маємо:

$$P_n = k_{TO} \cdot \Delta t \cdot Q = 1.163 \cdot \Delta t \cdot 120 = 139.6 \cdot \Delta t, \quad (4.25)$$

Підставимо (4.25) в (4.24) при цьому прийнявши що в рівнянні (4.24) Δt стабілізоване і має значення 20°C . Маємо:

$$Q = \frac{139.6 \cdot \Delta t}{k_{TO} \cdot \Delta t_{стаб}} = \frac{139.6 \cdot \Delta t}{1.163 \cdot 20} = 6 \cdot \Delta t, \quad (4.26)$$

Із статичних характеристик насоса та характеристики мережі (рис. 2.1) можна отримати залежність продуктивності від швидкості обертання насоса (рис. 4.6).

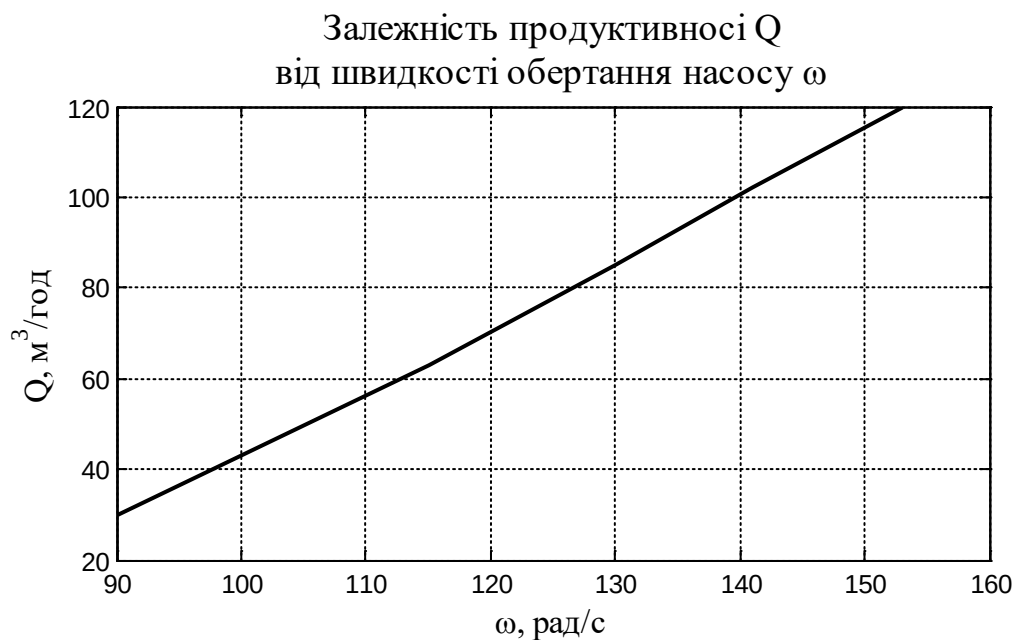


Рисунок 4.6 – Залежність потоку від швидкості насоса

Лінеаризуємо дану функцію і отримаємо математичну залежність Q від ω :

$$\omega = 72 + 0.671 \cdot Q. \quad (4.27)$$

Підставивши (4.26) в (4.27) маємо залежність швидкості обертання насоса ω від параметру Δt :

$$\omega = 72 + 0.671 \cdot Q = 72 + 0.671 \cdot 6 \cdot \Delta t = 72 + 4.026 \cdot \Delta t. \quad (4.28)$$

Залежність швидкості обертання насоса ω від Δt зображена на (рис. 4.7).

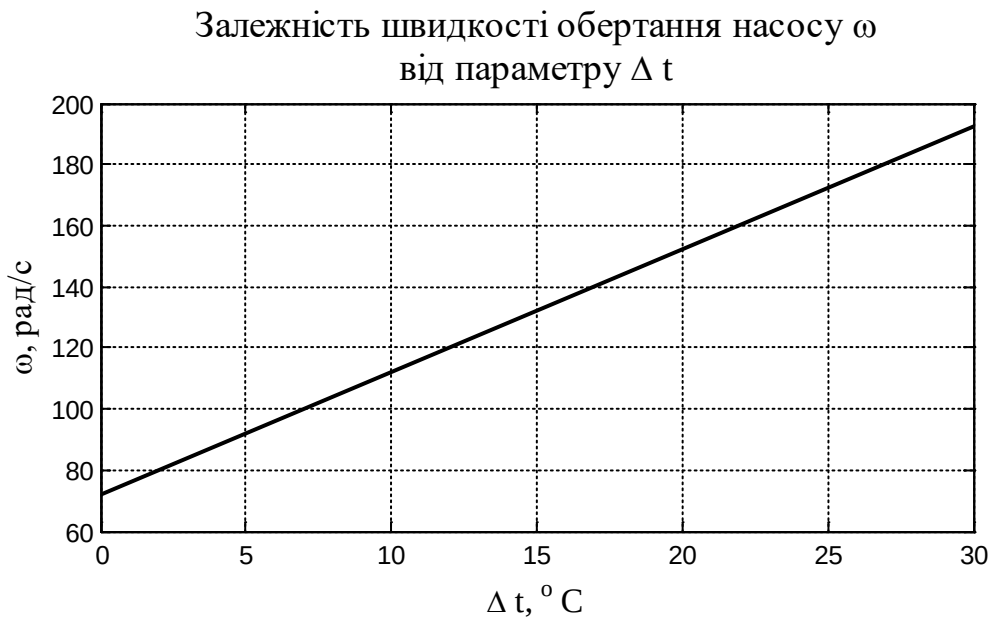


Рисунок 4.7 - Залежність швидкості обертання насоса від Δt

Для перетворення отриманого заданого значення ω в аналоговий сигнал 0...10 В необхідно зробити наступне перетворення (4.29):

$$U_3 = \frac{\omega}{\omega_{\text{ном}}} \cdot 10 = \frac{\omega}{152.6} \cdot 10 = 0.065 \cdot \omega.$$

Структурна схема функціонального блоку буде мати вигляд (рис. 4.8)

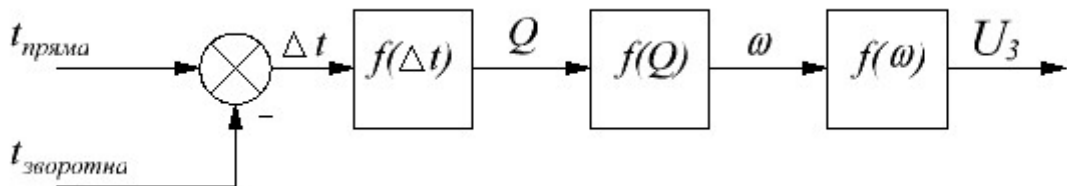


Рисунок 4.8 – Структурна схема функціонального блоку

На рис. 4.8 $f(\Delta t)$, $f(Q)$, $f(\omega)$ отримані з виразів (4.26) – (4.29).

З урахуванням отриманих виразів і результатів розрахунків, отримана структурна схема, загальний вигляд якої представлено на рис. 4.9:

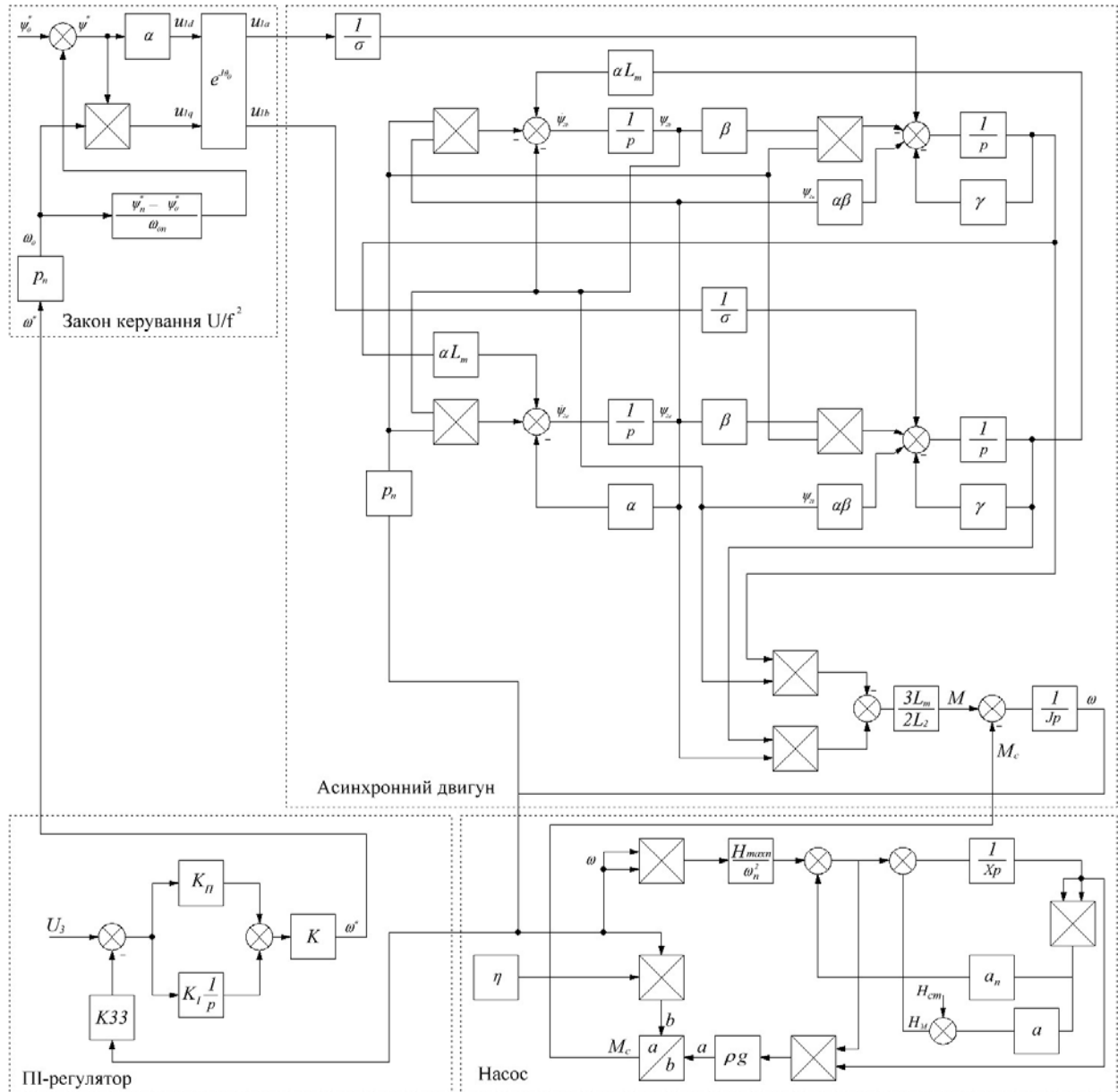


Рисунок 4.8 – Структурна схема системи двигун-насос з контуром регулювання швидкості

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4

1. В даному розділі була отримана математична модель НУ і виконано синтез регулятора швидкості.
2. На основі отриманих даних розроблена структурна схема контуру регулювання швидкості, функціональний блок регулювання температури і отримана загальна схема з контуром регулювання швидкості.
3. Отримані результати дозволяють виконати розробку моделі НУ для дослідження динамічних режимів роботи при стабілізації температури.

5 ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ НАСОСУ

Дослідження перехідних процесів в динамічних режимах проводилися в три етапи:

- розробка моделі НУ, що досліджується;
- одиночна зміна різниці температур прямої та зворотної подач;
- багатократна зміна різниці температур прямої та зворотної подач.

Для дослідження динамічних режимів представляється система стабілізації температури.

5.1 Розробка моделі для дослідження динамічних режимів роботи

Система стабілізації температури реалізується на основі розробленої структури (рис. 4.5). Структурна схема містить чотири основні блоки:

- насос;
- асинхронний двигун;
- ПІ-регулятор;
- функціональний блок.

Загальний вигляд моделі представлено на рис. 5.1.

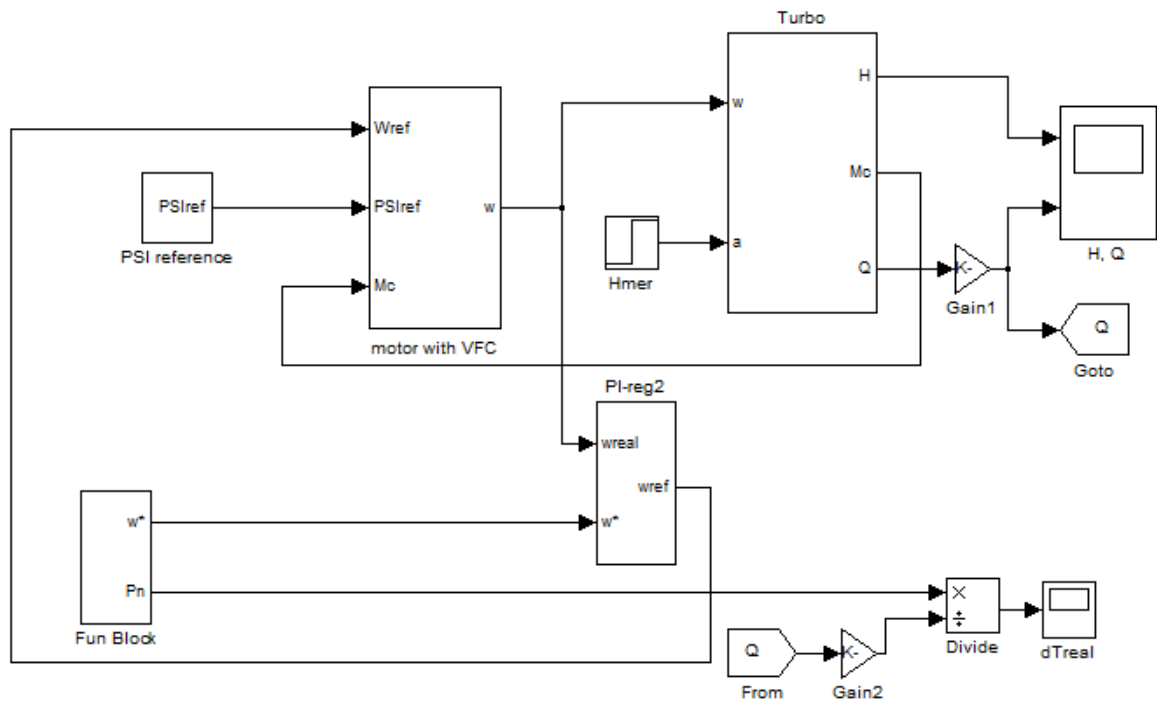


Рисунок 5.1 – Загальний вигляд досліджуваної моделі

Блок насосу (Turbo). За рівняннями (4.1)-(4.3) складається математична модель насосу, яка представлена на рис. 5.2.

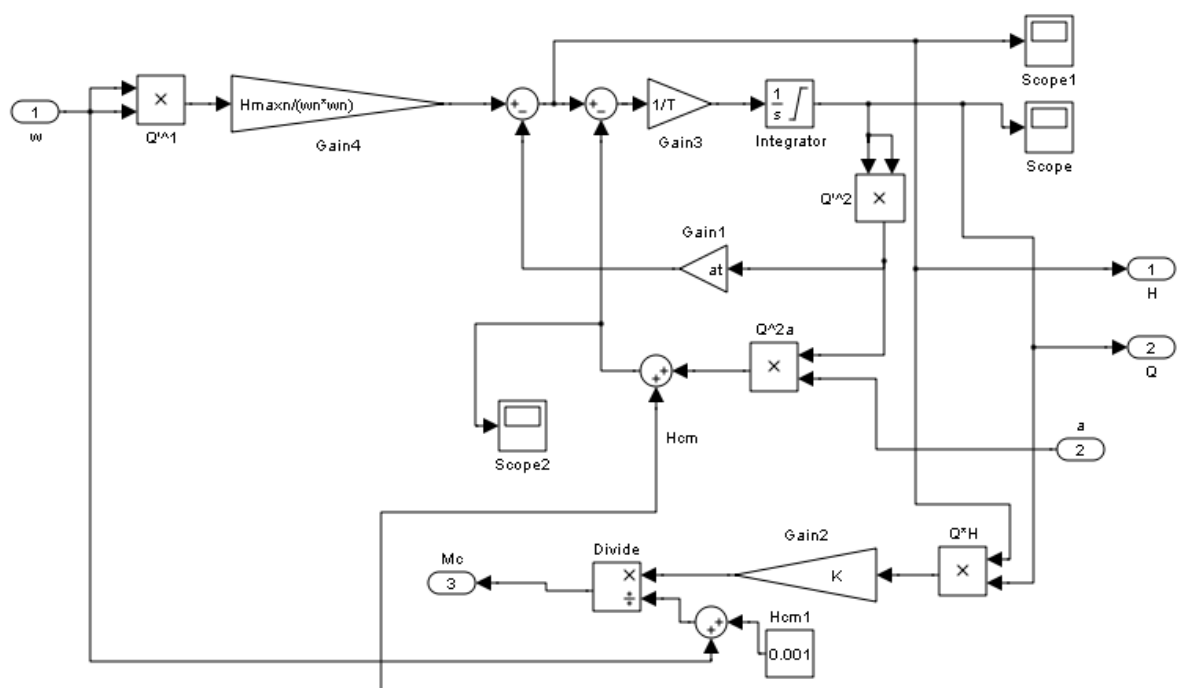


Рисунок 5.2 – Блок насосу

Блок асинхронного двигуна (motor with VFC). За рівняннями (4.4)-(4.10) складається математична модель АД у координатах статора (a-b) в просторі (рис. 5.3).

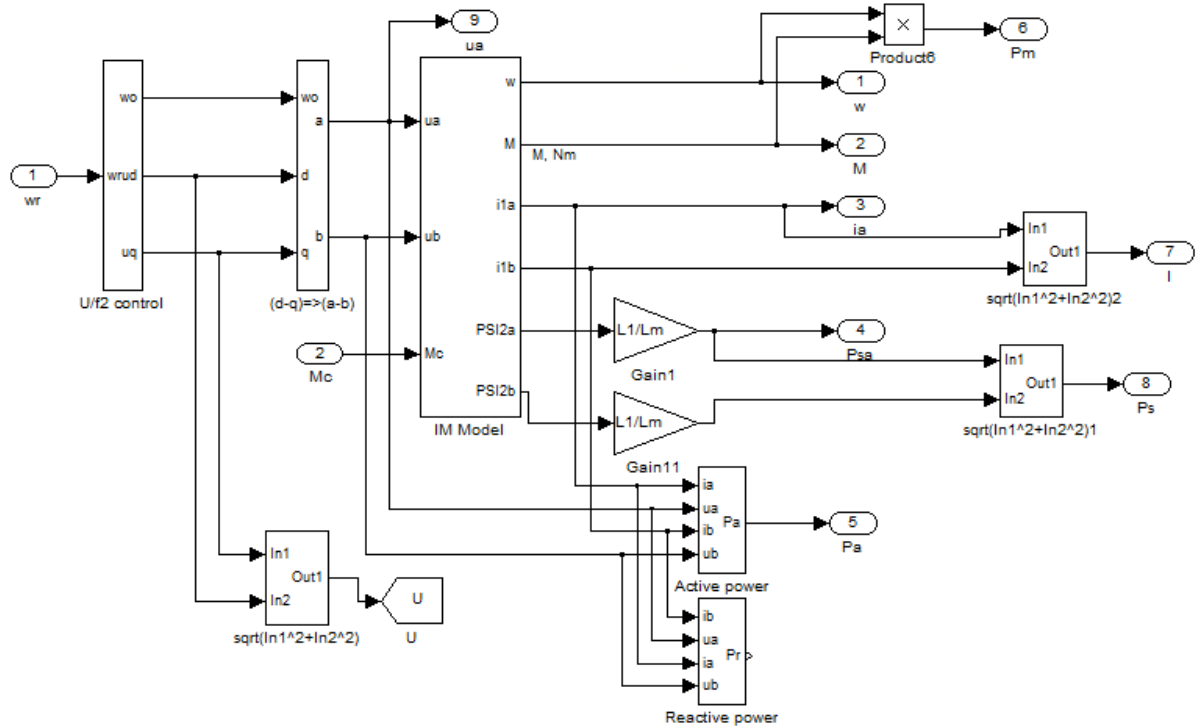


Рисунок 5.3 – Блок АД

Функціональний блок (Fun Block). Математична модель функціонального блоку, що було описано в четвертому розділі в рівнянні (4.28), зображена на рис. 5.4.

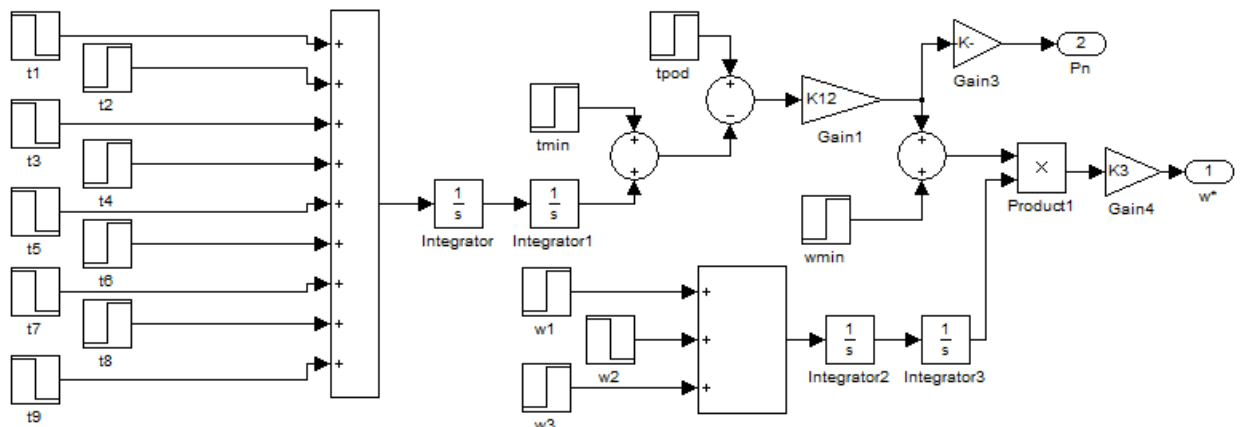


Рисунок 5.4 – Функціональний блок регулювання температури

Блок ПІ-регулятора (PI-reg). Математична модель регулятора швидкості представлена на рис. 5.5.

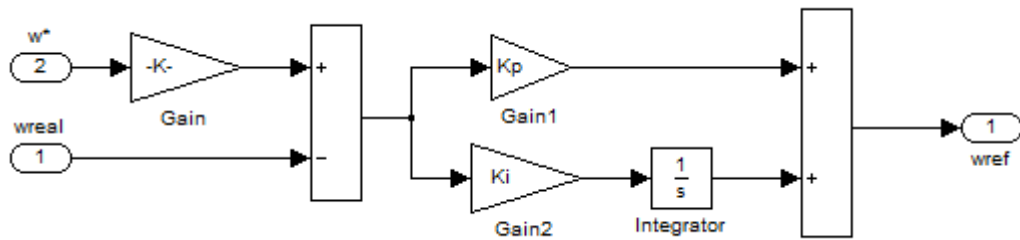


Рисунок 5.5 – Блок ПІ-регулятора

5.2 Дослідження характеру стабілізації Δt при одиночній зміні теплової потужності навантаження

Дослідження проводиться для випадку такої зміни теплової потужності навантаження теплообмінник, що призводить до зміни Δt від 20 °С до 10 °С. Завдання в моделі вводиться у відповідності із структурою, що представлена на рис. 5.6.

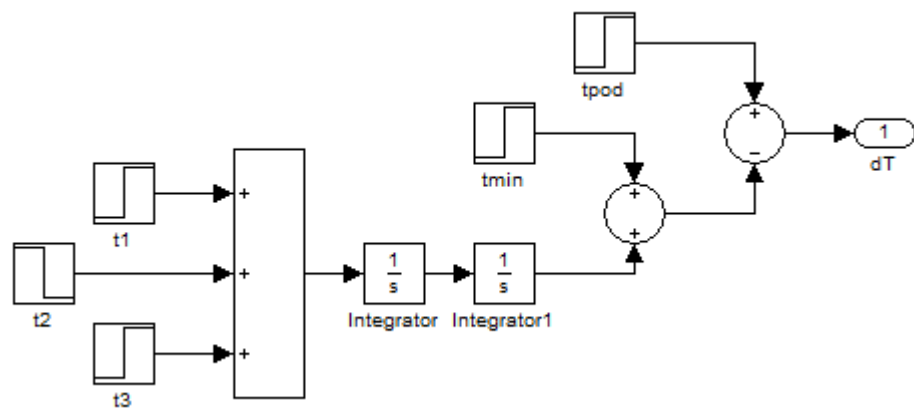


Рисунок 5.6 – Формування заданої теплової потужності навантаження.

Перехідні процеси системи представлені на рис. 5.7 – 5.8.

Блок асинхронного двигуна (motor with VFC). За рівняннями (4.4)-(4.10) складається математична модель АД у координатах статора (a-b) в просторі (рис. 5.3).

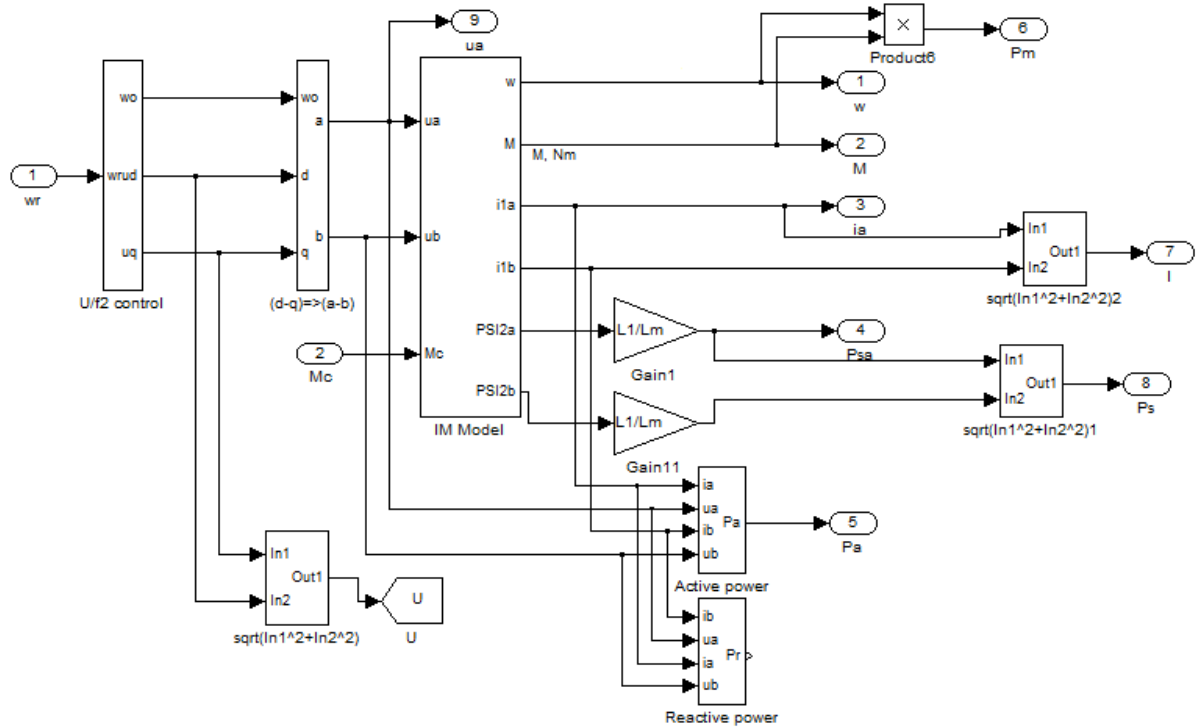


Рисунок 5.3 – Блок АД

Функціональний блок (Fun Block). Математична модель функціонального блоку, що було описано в четвертому розділі в рівнянні (4.28), зображена на рис. 5.4.

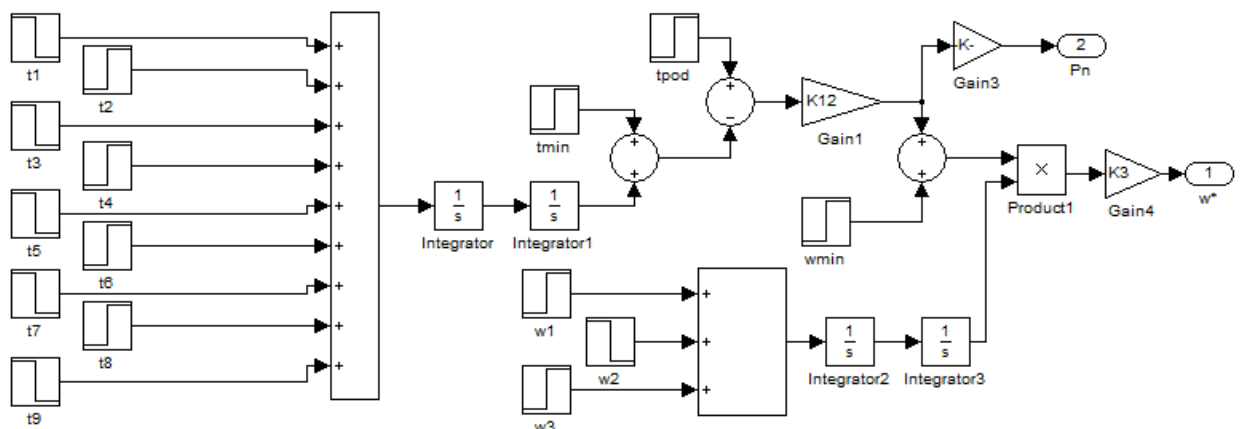
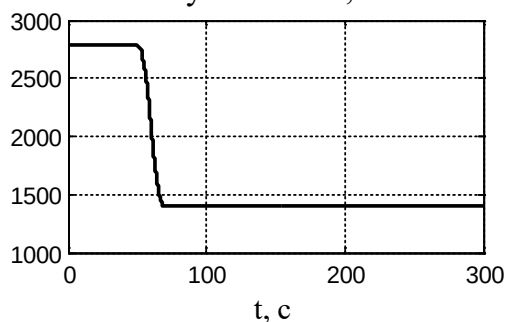
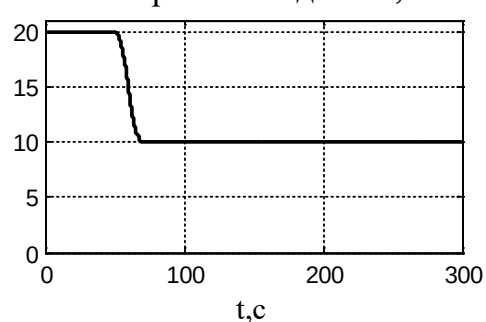


Рисунок 5.4 – Функціональний блок регулювання температури

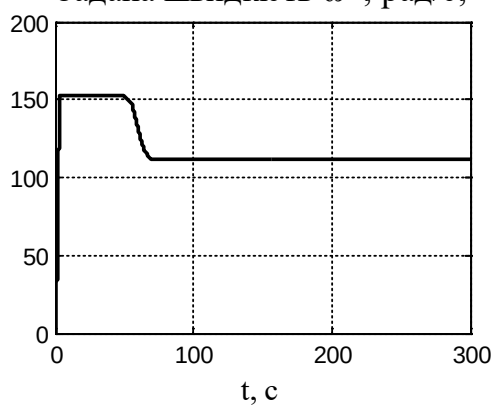
Споживана теплова
потужність P_n , кВт



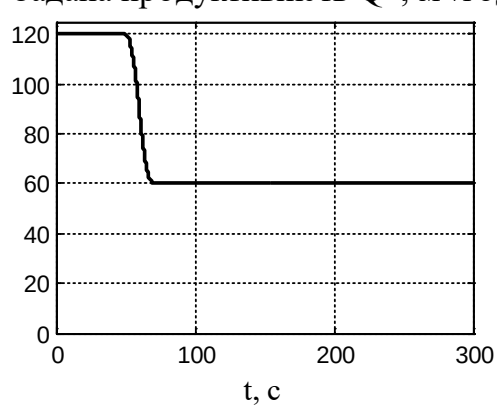
Різниця температур прямої
та зворотної подач Δt , °C



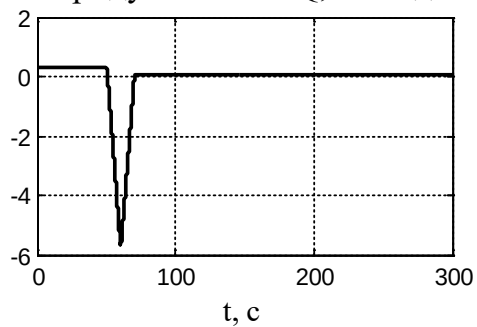
Задана швидкість ω^* , рад/с,



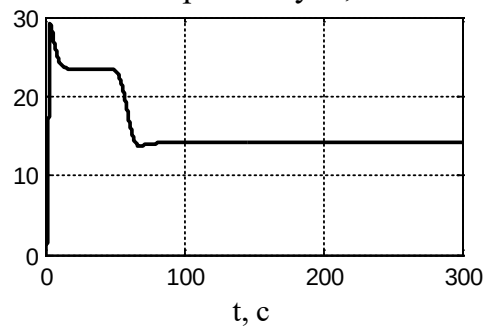
Задана продуктивність Q^* , м³/год



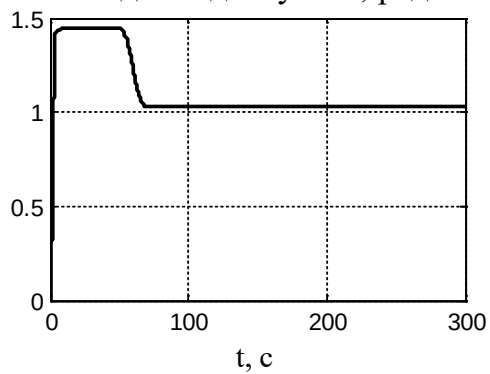
Похибка відпрацювання
продуктивності Q , м³/год



Напір насосу H , м



Похибка відпрацювання
швидкості двигуна ω , рад/с



Момент двигуна M , Нм

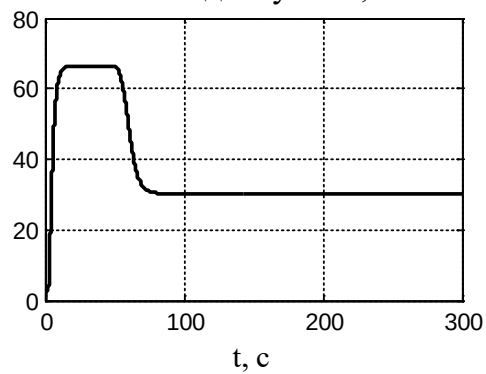


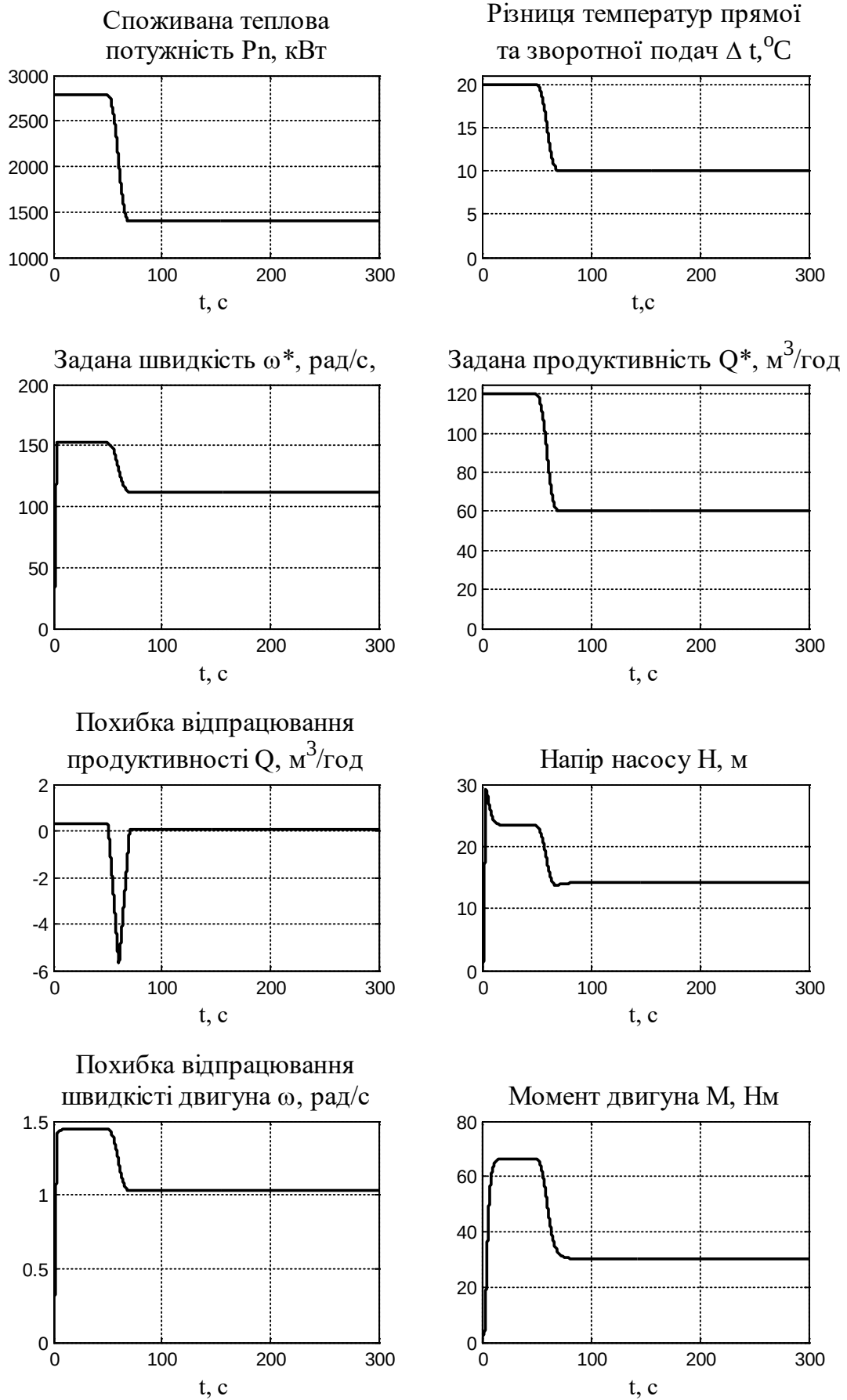
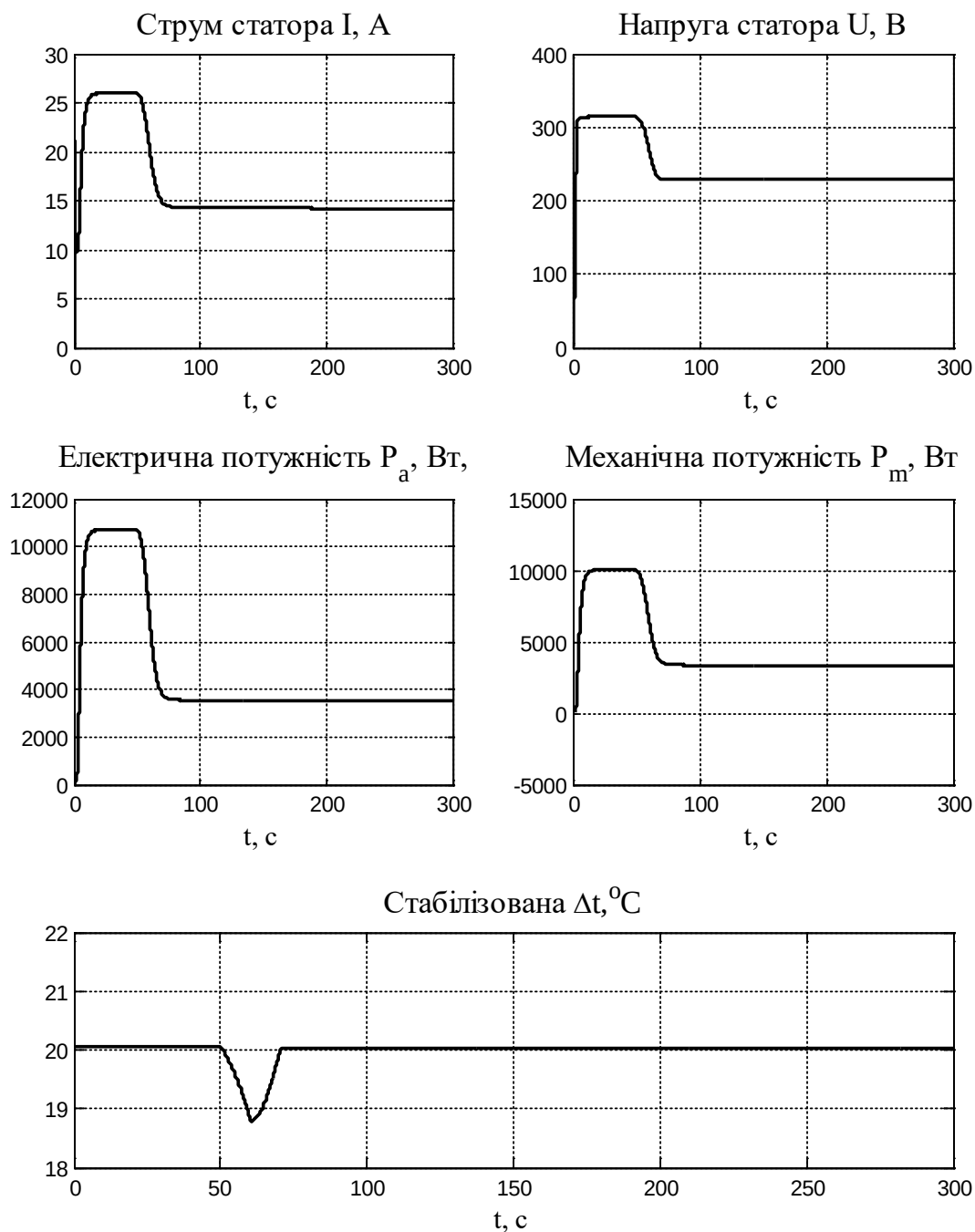
Рисунок 5.7 – Результати досліджень системи при одиночній зміні Δt 

Рисунок 5.7 – Результати досліджень системи при одиночній зміні Δt Рисунок 5.8 – Результати досліджень системи при одиночній зміні Δt

З рис. 5.7, 5.8 видно, що при зниженні теплової потужності споживання теплообмінником від номінальної 2.8 МВт до 1.4 МВт, різниця температур прямої та зворотної подач знижується з 20 °С до 10 °С. Дана Δt формує завдання на зміну продуктивності Q^* , яка забезпечує відповідну швидкість обертання робочого органу насосу ω^* , для стабілізації Δt на рівні 20 °С. На

графіку похибки відпрацювання швидкості обертання двигуна бачимо, що в системі присутня мінімальна статична похибка, що в номінальному режимі дорівнює 1.5 рад/с. Через статичну похибку по швидкості з'являється статична похибка у відпрацюванні Q . Графік похибки відпрацювання Q має також значну динамічну похибку. Це через те, що параметр Q на виході з насосу є інерційним і при зміні швидкості, продуктивність змінюється не одразу. В результаті регулювання відбувається стабілізація параметру Δt , який після перехідного процесу встановлюється на значенні близькому до заданого (20 °C). Невелика статична похибка присутня через наявність статичної похибки при відпрацюванні продуктивності Q .

5.3 Дослідження характеру стабілізації Δt при багатократний зміні теплової потужності навантаження

Дослідження проводиться для випадку постійної зміни теплової потужності навантаження. При дослідженні був прийнятий добовий цикл зміни теплової потужності навантаження теплообмінником, при якому параметр Δt варіюється від 5 °C до 20 °C. З метою дотримання можливості проведення модуляції системи, цей графік представлено в масштабі з часом модуляції 300 с. Завдання в моделі вводиться у відповідності із структурою, що представлена на рис. 5.9.

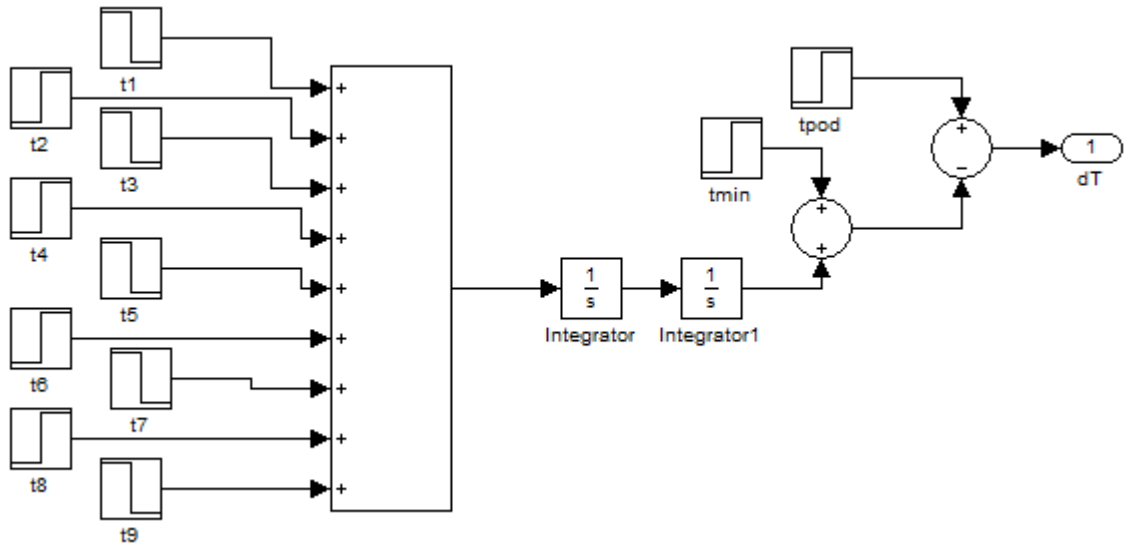
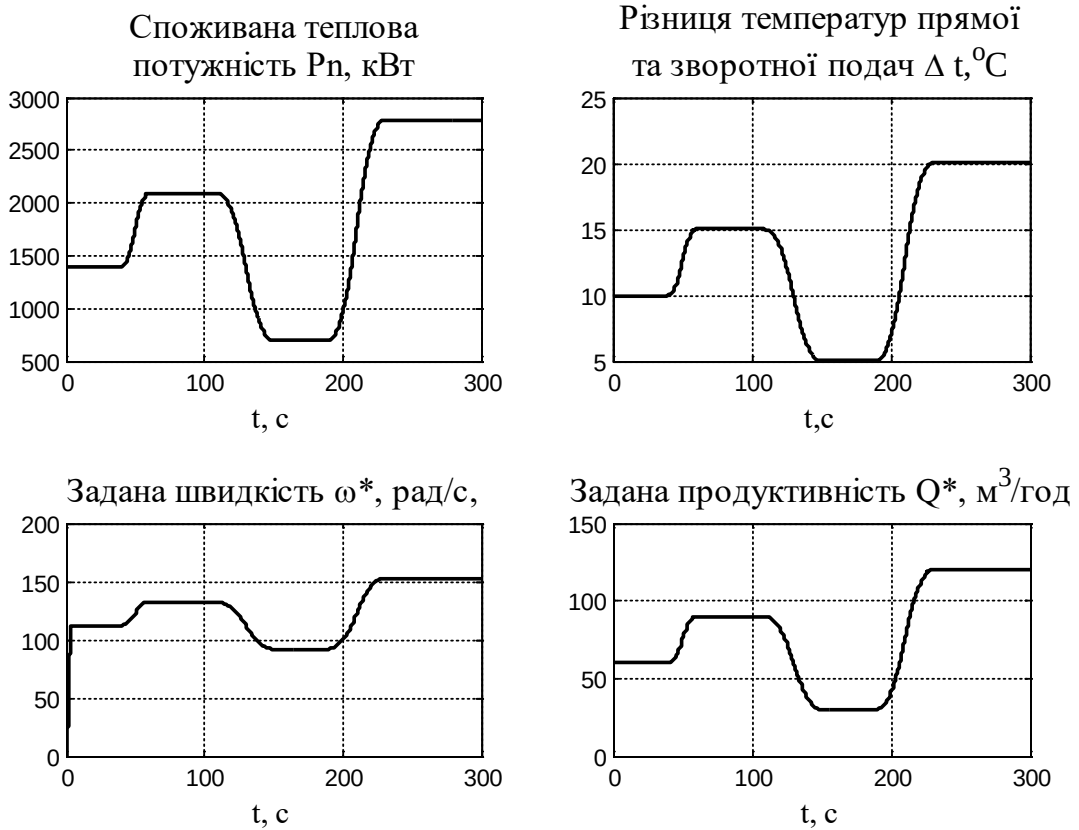
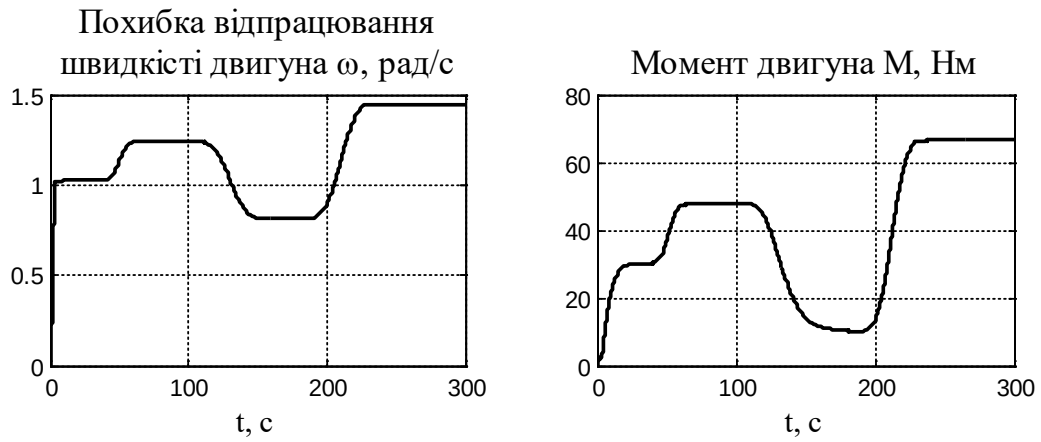
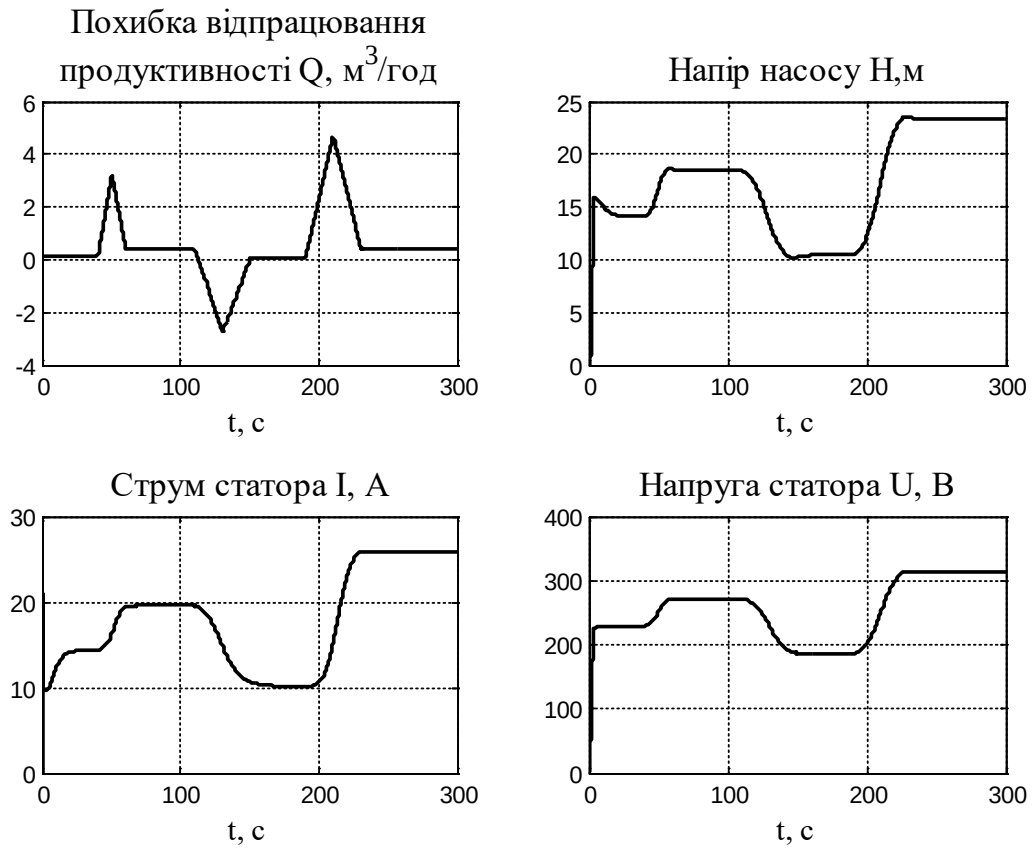


Рисунок 5.9 – Формування заданої теплової потужності навантаження.

Результати досліджень системи представлені на рис. 5.10 – 5.12.



Рисунок 5.10 – Результати досліджень системи при постійній зміні Δt 

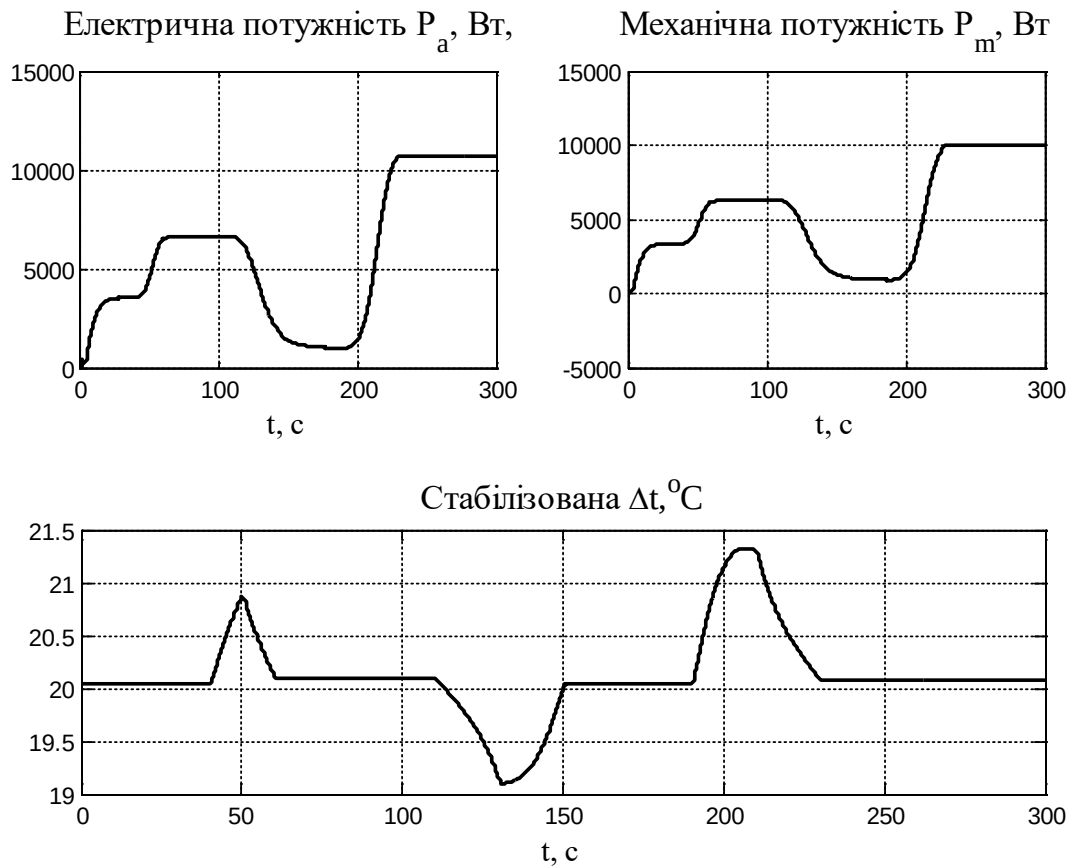
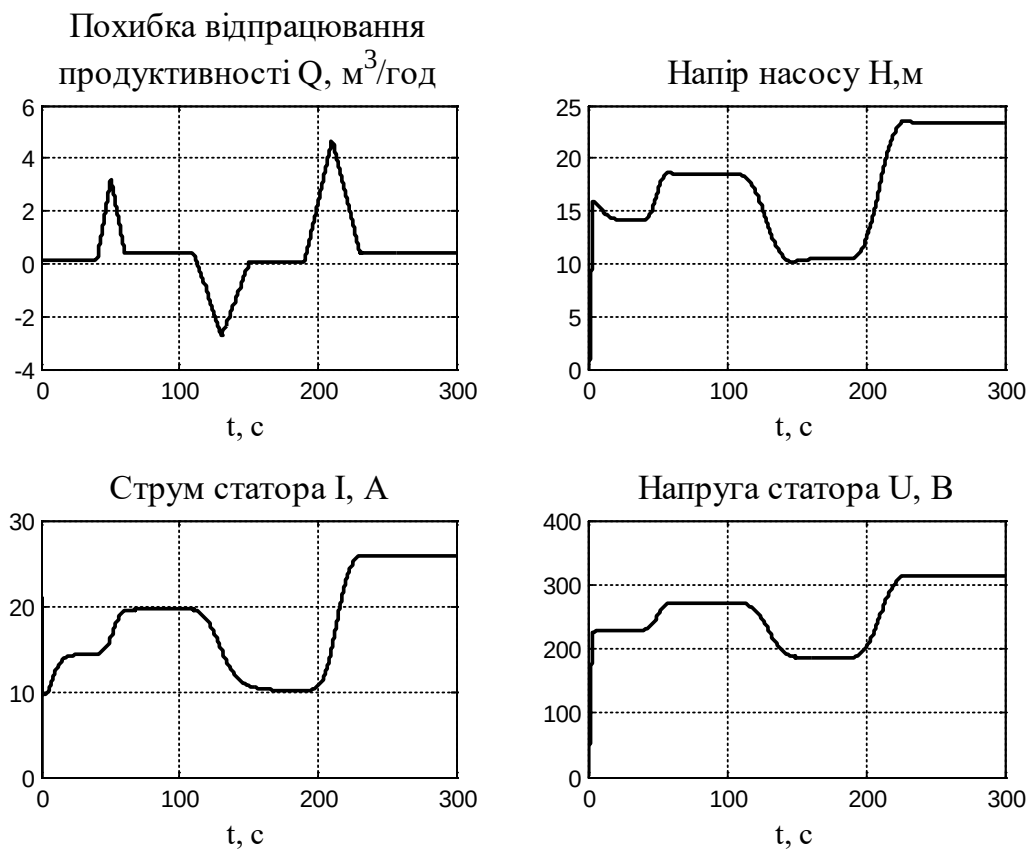


Рисунок 5.11 – Результати досліджень системи при постійній зміні Δt



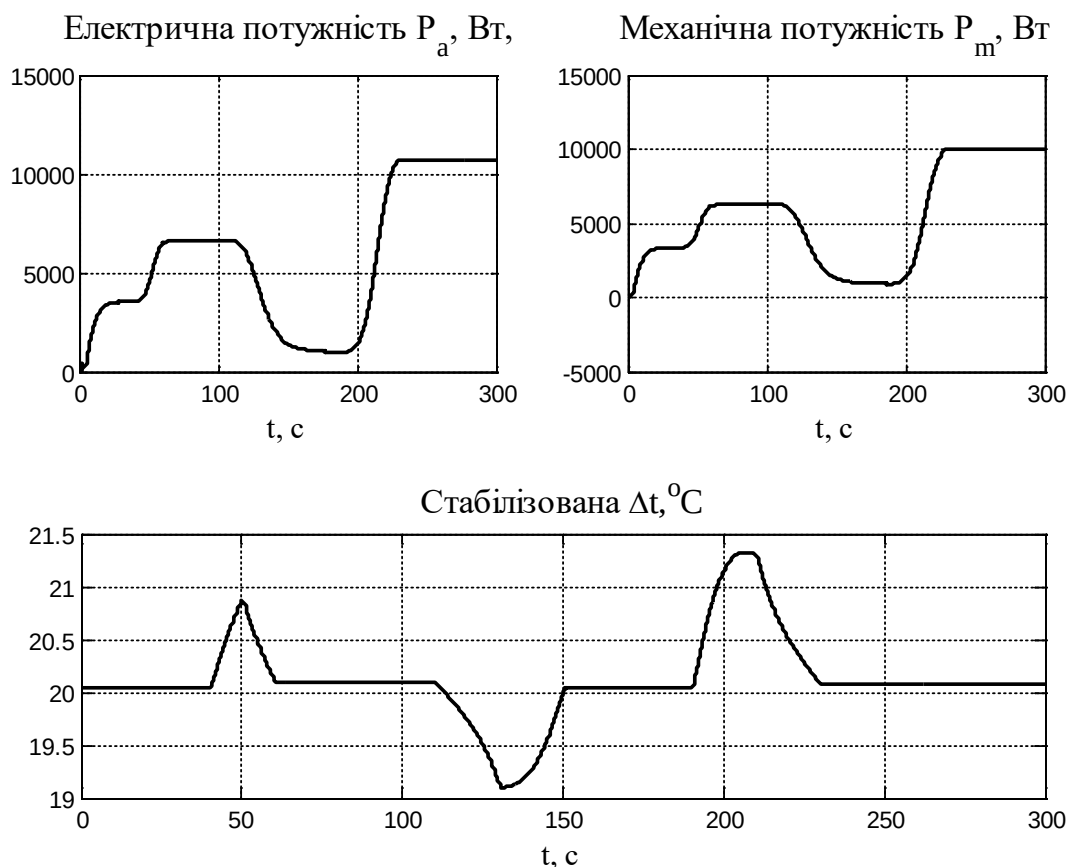


Рисунок 5.11 – Результати досліджень системи при постійній зміні Δ

З рис. 5.10, 5.11 видно, що при зміні теплової потужності, різниця температур прямої та зворотної подач також змінюється в межах $5 \dots 20^{\circ}\text{C}$. Отримана Δt формує завдання по продуктивності Q^* та завдання по швидкості обертання робочого органу насоса ω^* . На графіку похибки відпрацювання швидкості обертання двигуна бачимо, що в системі присутня мінімальна статична похибка, що в номінальному режимі дорівнює 1.5 рад/с . Через статичну похибку по швидкості з'являється статична похибка у відпрацюванні Q . Графік похибки відпрацювання Q має також значну динамічну похибку. Це через те, що параметр Q на виході з насосу є інерційним і при зміні швидкості, продуктивність змінюється не одразу. В результаті регулювання відбувається стабілізація параметру Δt , який після перехідного процесу встановлюється на значенні близькому до заданого (20°C). Невелика статична похибка присутня через наявність статичної похибки при відпрацюванні продуктивності Q .

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 5

1. Розроблена модель, яка дозволяє досліджувати динамічні режими в ЕМС при стабілізації різниці температур прямої та зворотної подач теплоносія Δt .

2. Використання даної системи стабілізації дозволяє підтримувати регульований параметр Δt на заданому рівні при зміні теплової потужності навантаження в широких межах. В системі присутні незначні статичні та динамічні похибки відпрацювання регульованих параметрів, які не впливають на якість технологічного процесу, оскільки система опалення житлового будинку не потребує надточної системи регулювання.

ВИСНОВКИ

Виконано розрахунок та вибір необхідного для системи насосу, привідного двигуна та розраховано додаткові параметри двигуна для можливості створення математичної моделі системи.

Виконано розрахунок та вибір елементів перетворювального пристрою, на основі якого було обрано частотний перетворювач та необхідні датчики .

Виконано синтез контуру стабілізації різниці температури прямої та зворотної подач теплоносія в системі керування і проведено розрахунок регулятора швидкості обертання робочого органу насосу.

Дослідження показали, що в системі опалення присутні незначні статичні та динамічні похибки відпрацювання регульованих параметрів. Але оскільки система опалення житлового будинку не потребує надточної системи регулювання, ці похибки не впливають на якість технологічного процесу. Розроблена система регулювання є енергоефективною і більш оптимальною в порівнянні з регулюванням методом дроселювання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ломакин А. А. Центробежные и осевые насосы: підручник для студентів навчальних закладів, які навчаються за напрямком підготовки «Машинобудування» — 2-е. — М.—Л.: Машиностроение, 1966. — 364с.
2. Вибір насосу. URL: <http://ence-pumps.ru/> (дата звернення: 15.04.19)
3. Реле тиску. URL: <https://sovet-ingenera.com/> (дата звернення: 16.04.19)
4. Устименко Д.В. Эффективность впровадження систем із частотно-керованими електроприводами насосів / Д.В. Устименко, А.В. Нікітенко // Кафедра «Автоматизований електропривод». «ДІТ». — 2011. — С. 116-119.
5. А. К. Михайлов, В. В. Малюшенко. Лопастные насосы. Теория, расчет и конструирование. М., «Машиностроение». - 1977. - 288 с.
6. Розрахунок насосу: <http://vogel-select.com/> (дата звернення: 25.04.19)
7. А. Э. Кравчик Асинхронные двигатели серии 4А: Справочник / А.Э. Кравчик, М. М. Шлаф, В. И. Афонин, Е. А. Соболенская. — М.: Энергоатомиздат, 1982. — 504с.
8. Чиженко И. М. Справочник по преобразовательной технике: под ред. Киев : Техніка, 1978. - 447 с.
9. Автоматизація електромеханічних систем. Курсовий проект. Методичні вказівки до виконання курсового проекту для студентів / С. М. Пересада, С. М. Ковбаса, С. С. Димко —К.: НТУУ “КПІ”, 2014. — 43 с.
10. IGBT транзистори: <https://www.compel.com/> (дата звернення: 28.04.19)
11. ЧП: <https://chastotnik.com.ua/> (дата звернення: 28.04.19)
12. Давач температури: <http://www.svaltera.ua/> (дата звернення: 28.04.19)
13. Енкодер: <http://www.promsytex.ru/> (дата звернення: 28.04.19)
14. Модель насосу: <http://www.simumath.net/> (дата звернення: 10.05.19)
15. Ключев В.И., Терехов В.М. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов. - М.: Энергия, 1980, - 359 с.
16. Ромакин, Н. Е. Конструкция и расчет конвейеров: справочник / Н.Е. Ромакин. — Старый Оскол: ООО "ТНТ", 2011. - 504 с..

17. Дьячков, В.К. Подвесные конвейеры [Текст] / В.К. Дьячков. – М.: Машиностроение, 1976. – 320с.
18. . Зенков, Р. Л. Машины непрерывного транспорта [Текст] / Р.Л. Зенков, И.И. Ивашков, Л.Н. Колобов. – М.: Машиностроение, 1987. – 432 с.
19. Вешеневский С.Н. Характеристики двигателя в электроприводе. - М.: Энергия, 1974. - 568 с.
20. Методические указания к курсовой работе по автоматизированному электроприводу типовых производственных механизмов для студентов специальности «Электропривод и автоматизация промышленных установок и технологических комплексов» / Сост. Н.Г. Попович, Н.В. Печеник.-К.: КПИ, 1989.- 44 с.