

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

(повне найменування вищого навчального закладу)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій і робототехніки

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

бакалавр

(ступінь вищої освіти)

на тему «Енергоощадний автоматизований електропривод
водонасосної станції»

Виконав: студент групи 201-пМЕ
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва спеціальності)

Бреславець В.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник Кислиця С.Г.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Галай В.М

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційної роботи бакалавра „Енергоощадний автоматизований електропривод водонасосної станції”

Робота містить 65 сторінок, 7 плакатів, та список літератури з 18 використаних джерел.

Ключові слова: насосна установка, водогінна мережа, асинхронний електродвигун, транзисторний перетворювач частоти, ПІД – регулятор тиску, датчик тиску, автоматична система керування.

У даній роботі розробляється автоматична система керування насосної установки для постачання холодної води. При проектуванні САК й виборі елементної бази основним критерієм відбору була доступність складових частин електропривода, можливість вільного придбання їх на території України, одержання технічної документації й гарантійного обслуговування. Відповідно до обраних елементів розробляється структурна схема системи автоматичного керування, визначаються параметри динамічних ланок, виробляється моделювання динамічних режимів САК за допомогою ЕОМ, описується схема керування електроприводом і розробляється його принципова схема. Багато уваги приділено проблемам: економії електроенергії, зменшенню витрат на заробітну плату робітників, які обслуговують насосну установку, зменшенню вартості машино – годин роботи. Розробляються міри для забезпечення безпечної й нешкідливої роботи обслуговуючого персоналу.

ABSTRACT

To the qualification work of the bachelor "Energy saving automated electric drive of water pumping station"

The work contains 65 pages, 7 posters, and a list of references from 18 used sources.

Key words: pump installation, water supply network, asynchronous electric motor, transistor frequency converter, PID - pressure regulator, pressure sensor, automatic control system.

In the given first work developed automatic control system of the pumping unit to supply cold water. When designing the SAC and choosing the element base, the main selection criterion was the availability of components of the electric drive, the possibility of free purchase on the territory of Ukraine, obtaining technical documentation and warranty service. According to the selected elements the structural scheme of system of automatic control is developed, parameters of dynamic links are defined, modeling of dynamic modes of SAK by means of the computer is made, the control scheme of the electric drive is described and its schematic scheme is developed. Many attention is paid to the following problems: saving electricity, reducing the cost of wages of workers who service the pumping station, reducing the cost of machine - hours of work. Measures are being developed to ensure the safe and safe operation of service personnel.

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
 Інститут Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та
 робототехніки

Кафедра Автоматики, електроніки та телекомунікацій

Ступінь вищої освіти Бакалавр

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

**Завідувач кафедри
 автоматики, електроніки та
 телекомунікацій**

_____ О.В. Шефер
 “ 11 ” травня 2021 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРУ

Бреславцю Владиславу Олеговичу

1. Тема роботи «Енергоощадний автоматизований електропривод
 водонасосної станції»

керівник роботи Кислиця Світлана Григорівна, к.т.н., доцент

затверджена наказом вищого навчального закладу від 03.03.2021 р. № 158 -фа

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 15.06.2021 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) насосна установка підвищення тиску;
 подача $Q_{ном} = 27,7 \text{ м}^3/\text{год}$, напор – $H_{ном} = 29 \text{ м}$

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. Загальні відомості про насосні установки. Розрахунок потужності і вибір двигуна. Розробка системи автоматичного керування і розрахунок елементів. Дослідження статичних і динамічних режимів роботи електромеханічної системи. Розробка функціональних схем системи автоматичного управління. Розробка структурних схем системи автоматичного управління.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових плакатів):

- 1) Габаритне креслення насоса;
- 2) Добовий графік водоспоживання;
- 3) Насосна установка підвищення тиску;
- 4) Блок-схема ПД-регулятора;
- 5) Модель системи автоматизованого електроприводу;

- б) Графіки перехідних процесів;
 б. Дата видачі завдання 11.05.2021 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи			Примітка (плакати)
1	Вступ. Загальні відомості про насосні установки. Аналіз недоліків електроприводу і постановка задачі на кваліфікаційну роботу.	18.05.21		25%	Пл. 1
2	Розробка системи автоматичного керування і розрахунок елементів. Дослідження статичних і динамічних режимів роботи електромеханічної системи.	26.05.21	I	50%	Пл. 2
3	Розробка функціональних схем системи автоматичного управління. Розробка структурних схем системи автоматичного управління.	02.06.21		60%	Пл. 4
4	Побудування діаграм і графіків.	09.06.21		80 %	Пл. 5
5	Оформлення кваліфікаційної роботи бакалавра	15.06.21	II	100%	Пл. 6

Студент _____ Бреславець В.О.
 (підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Кислиця С.Г.
 (підпис) (прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП.....	7
1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	9
1.1 Загальні відомості про насосні установки.....	9
1.2 Обладнання насосних установок.....	12
1.3 Режими роботи насосних установок.....	15
1.4 Насосна установка підвищування тиску.....	20
1.5 Технічні вимоги до електропривода.....	23
2 Розрахунково-конструкторська частина.....	26
2.1 Техніко – економічне обґрунтування вибору системи електроприводу.....	26
2.2 Розрахунок потужності і вибір двигуна.....	31
2.3 Вибір силових елементів.....	34
3 Розробка системи автоматичного керування і розрахунок елементів.	36
3.1 Розробка системи автоматичного керування.....	36
3.2 Розрахунок системи автоматичного керування.....	45
3.3 Опис роботи схеми керування.....	48
4 Дослідження статичних і динамічних режимів роботи електромеханічної системи.....	50
4.1 Система стабілізації напору при зміні швидкості.....	51
ВИСНОВКИ.....	65
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	66

ВСТУП

Протягом багатьох десятиліть відцентрові насоси забезпечують комфортні умови життя людини, беруть участь у більшості виробничих процесів. Дослідження показали, що близько 25% всієї електроенергії що виробляється на земній кулі витрачається на електропривод відцентрових механізмів, левову частку цієї енергії споживають, саме відцентрові насоси. Більша частина електроприводів зазначених механізмів є нерегульованими.

Традиційні способи регулювання подачі насосних установок складаються в дроселюванні напірних ліній і зміні загального числа працюючих агрегатів. Ці способи регулювання спрямовані на рішення технологічних завдань і практично не враховують енергетичних аспектів транспорту води.

Гідравлічне й електротехнічне устаткування насосних станцій звичайно вибирається по максимальних технічних параметрах (подачі, напору й ін.) системи водопостачання й водовідведення. Однак у реальному житті виявляється, що насосні установки, що вводять знову в експлуатацію, виходять на проектні режими протягом декількох років. Крім того, мають місце добові, тижневі й сезонні коливання витрат і напорів, обумовлені змінним водоспоживанням, у результаті цього робочі режими насосів виявляються поза робочими зонами їхніх характеристик [1].

Тому з появою надійного регульованого електропривода створилися передумови для розробки принципово нової технології транспорту води з плавним регулюванням робочих параметрів насосної установки без непродуктивних витрат електроенергії та з широкими можливостями підвищення точності й ефективності технологічних критеріїв роботи системи подачі.

Електропривод містить у собі електричний двигун, перетворювач електричної енергії (наприклад, перетворювач частоти) і систему керування.

У промисловості й побуті застосовуються двигуни змінного і постійного струму. Історично склалося, що для регулювання швидкості обертання

частіше використовували двигуни постійного струму. Перетворювач у цьому випадку регулював тільки напругу, був простий і дешевий. Однак двигуни постійного струму мають складну конструкцію та були порівняно дорогі. Асинхронні двигуни широко поширені, надійні, мають відносно невисоку вартість, гарні експлуатаційні якості, але регулятори швидкості їхнього обертання через складність систем електронного регулювання частоти живлячої напруги коштували до початку 80-х років дорого й не мали якості, необхідними для широкого впровадження в індустрію. Завдяки бурхливому розвитку електроніки й появі недорогих перетворювачів частоти стало можливим регулювання швидкості обертання асинхронних двигунів у широких масштабах. Швидкий ріст ринку перетворювачів частоти для асинхронних двигунів не в останню чергу став можливий у зв'язку з появою нової елементної бази – силових модулів, розрахованих на струм до декількох кілоампер, напруга до декількох кіловольт і комутації, що мають частоту, 30 кГц і вище [1, 2].

Метою роботи є розробка електропривода відцентрового насоса з використанням сучасної елементної бази, що забезпечує виконання наступних вимог: економію електроенергії; можливість гнучкого настроювання привода при мінливих режимах роботи; виробничу безпеку; екологічність; мінімізація витрат на обслуговування.

Для рішення цього завдання потрібно: ознайомитися з процесом і технологією подачі води; провести аналітичний огляд технічної літератури по даній проблематиці; здійснити вибір елементів електропривода, що забезпечують працездатність системи; розробити функціональні схеми системи автоматичного керування; провести математичний опис об'єкта й системи керування; здійснити моделювання й дослідження статички й динаміки САК на ЕОМ.

1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Загальні відомості про насосні установки

В першу чергу необхідно якомога ближче ознайомитися з тими видами насосних установок, які широко використовуються на сьогоднішній день, а також дати ряд визначень.

Гідравлічна машина, що створює напірне переміщення рідини при передачі їй енергії, називається насосом.

Насос у сукупності з електроприводом і передавальним механізмом (муфтою, редуктором, шківом і т.д.) утворює насосний агрегат.

Комплекс устаткування, що забезпечує роботу насосів у необхідному режимі і складається з одного чи декількох насосних агрегатів, трубопроводів, запірної і регулюючої арматури контрольно-виміральної апаратури, а також апаратури керування і захисту, створює насосну установку [1].

Споруда, до складу якої входять одна чи декілька насосних установок, а також допоміжні системи й устаткування, побутові і виробничі приміщення, що забезпечують працездатність об'єкта в цілому, називається насосною станцією.

Основними параметрами, що характеризують режим роботи насосної установки, є напір і подача.

Напір – це різниця питомих енергій рідини в напірному й всмоктувальних патрубках насоса, необхідна для підйому рідини на задану висоту і подолання сил тертя в трубопроводі.

Подача – обсяг рідини, що перекачується насосною установкою за одиницю часу.

Режимом роботи насосної установки називається визначений порядок роботи її устаткування відповідно до умов роботи, що змінюються.

Насосні станції комплектуються одним чи декількома насосними агрегатами (до 12 агрегатів). Якщо до складу насосної установки входять кілька агрегатів, напірні й всмоктувальні лінії насосів зв'язуються між собою

відповідно напірними й всмоктувальними колекторами. До напірних колекторів приєднуються напірні водоводи, а до всмоктувальних колекторів – всмоктувальні водоводи. Якщо при насосній станції існують прийомні всмоктувальні резервуари, то колектори можуть не передбачатися, а всмоктувальні лінії насосів з'єднуються безпосередньо з резервуаром [2].

В залежності від призначенні і роду рідини, що перекачується, насосні установки поділяються на: водопровідні, каналізаційні, меліоративні, теплофікаційні, нафтоперегонні й інші.

Насосні водопровідні станції в залежності від місця, займаного в загальній схемі водопостачання, поділяються на I та II підйому і підвищувальні. Насосна станція I підйому забирає воду з джерела водопостачання (річка, озеро, водоймище і т.д.) та подає її на очисні споруди. Насосна станція II підйому подає воду з резервуарів чистої води в розподільчу мережу. У тих випадках, коли тиск, що розвивається, недостатній для підйому води на необхідну висоту, споруджуються підвищувальні насосні станції (станції підкачування). Насосні установки цих станцій збільшують напір у мережі, забираючи воду з однієї ділянки водоводу чи мережі і подають її в інший водовід чи ділянку мережі. При цьому забір води може здійснюватися як через проміжні резервуари, що виконують функції регулюючих ємностей, так і без них. В останньому випадку установки працюють за схемою „з труби в трубу”. В залежності від призначення водопровідні насосні станції (ВНС) поділяються на станції технічної і питної води. Побудова цих станцій, як правило, однакова, їхні режими роботи відрізняються один від одного [2].

Каналізаційні насосні станції (КНС) призначені для перекачування стічних вод до місця очищення. В залежності від місця в загальній схемі каналізації КНС поділяються на місцеві, районні і головні (центральні). Крім того, КНС поділяються по роду стоків, що перекачуються, (побутові, виробничі та ін.). КНС обладнуються як насосами для стічних рідин, так і іншими насосами, призначеними для перекачування забруднених вод [3].

Меліоративні насосні станції поділяються на станції зрошення і осушувальних систем. Насосні станції зрошення в свою чергу поділяються на головні, проміжні перекачувальні і дощувальні. Будова головних станцій аналогічна водопровідним станціям I підйому. Проміжні перекачувальні насосні станції за будовою аналогічні водопровідним підвищувальним станціям [2-3].

Дощувальні насосні станції призначені для подачі дощувальним машинам через відкриті канали, або через закриту мережу зрошення. В останньому випадку насосна станція оснащується крім основних насосних агрегатів бустерними насосами для підтримки тиску в закритій мережі в період, коли не працюють основні насоси. Крім того, на цих станціях звичайно встановлюються водоповітряні баки, що забезпечують автоматизацію роботи основних і бустерних насосів при включенні і відключенні дощувальних машин. Насосні станції осушувальних систем перекачують поверхневі води або знижують рівень ґрунтових вод. При цих стадіях звичайно споруджують резервуар для прийому стоків. За будовою і режимом роботи ці станції нагадують КНС [3].

Теплофікаційні насосні станції призначені для подачі гарячої води в системи опалення і гарячого водопостачання житлових будинків, а також технологічним споживачам. Джерелами гарячої води є центральні котельні і теплоелектроцентралі, на яких звичайно встановлюються мережні насоси. За допомогою мережних насосів вода пропускається через водопідігрівачі, де вона нагрівається парою з теплофікаційних доборів турбін і далі через теплофікаційну мережу надходить до споживача.

Насосні установки теплових електростанцій (ТЕС) виконують різноманітні функції в технологічному процесі вироблення електричної і теплової енергії. Живильні насоси подають воду в казановий агрегат. Конденсатні – перекачують відпрацьований у турбіні пар, що перетворився на воду, у деаератор. Циркуляційні насоси забезпечують постійну циркуляцію охолодженої води через конденсатор і охолоджувальні пристрої.

Широко розповсюджені насосні установки, призначені для транспортування нафтопродуктів. Знаходять вони застосування й у будівництві: для водозниження, відкачки забруднених вод з котлованів, подачі різного роду рідких і напіврідких компонентів (розчинів, бетонів і т.д.). Застосовуються насосні установки й у гірничорудній промисловості для транспортування різного роду пульп (землесоси, земснаряди та ін.) [4-5].

1.2 Обладнання насосних установок

До основного устаткування насосних установок відносяться: насоси, приводи насосів (електродвигуни, двигун внутрішнього згорання), а також трубопроводи з регулюючою і запірною арматурою.

На сучасних насосних установках найбільше поширення одержали відцентрові й осьові насоси.

Відцентрові насоси. У середині нерухомого корпусу 1 (рис.1.1), що має спіральну форму, знаходиться робоче колесо 2, закріплене на валу 3. Колесо 2 складається з двох дисків, між якими розташовані лопати 4. Корпус насоса з'єднаний з всмоктувальним і напірним трубопроводами патрубками 5,6. [4].

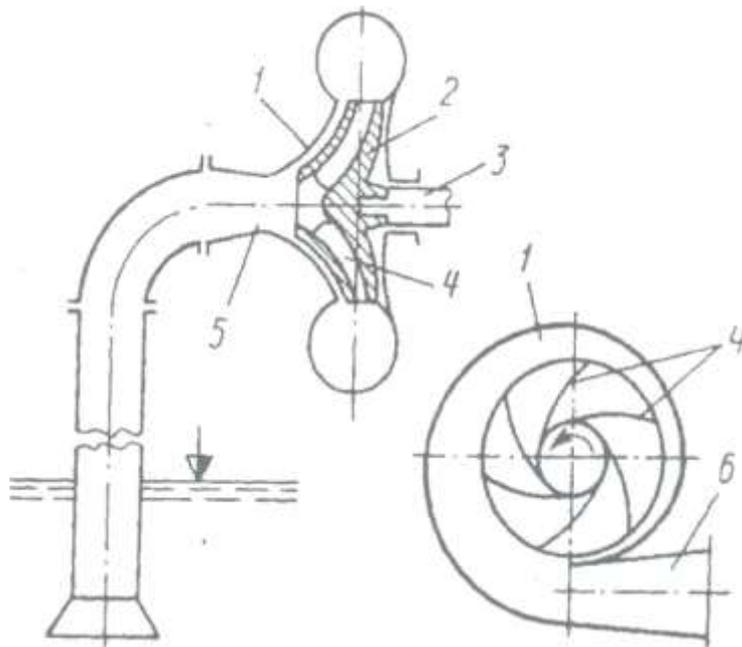


Рисунок 1.1 Схема відцентрованого насоса

Якщо корпус насоса і його всмоктувальний трубопровід наповнити рідиною, а потім привести в обертання робоче колесо, то рідина під дією лопат робочого колеса приходить в обертання. Відцентрові сили переміщують рідину та периферію, де створюється підвищений тиск, а в центрі колеса – розрідження. За рахунок цієї різниці тисків рідина надходить у напірний трубопровід. Так здійснюється безупинна подача рідини насосом.

Відцентрові насоси можуть бути як одноступінчаті (з одним робочим колесом), так і багатоступінчасті (з декількома колесами). Конструктивно в залежності від розташування вала вони поділяються на насоси горизонтальні і вертикальні.

Осьові насоси. Осьові насоси виготовляються двох типів: з жорстко закріпленими лопатами робочого колеса (типу О) і з поворотними лопатами (типу ОП). На рис. 1.2 зображено осьовий насос типу ОП [4].

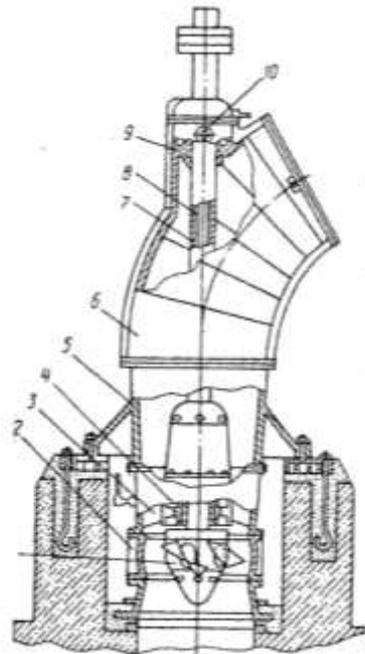


Рисунок 1.2 – Осьовий насос типу ОП

1 – робоче колесо з поворотними лопатами; 2 – сферична камера; 3 – випрямляючий апарат; 4 – нижня опора вала; 5 – дифузор з лапами для кріплення до фундаменту плит; 6 – корпус насоса; 7 – порожній вал; 8 – шток приводу механізму розвороту лопат; 9 – верхній направляючий підшипник; 10 – механізм повороту лопат з ручним приводом

Насоси обох типів можуть випускатися в двох виконаннях: з горизонтальним та з вертикальним розташуванням валу.

Робоче колесо обертається в сферичній камері. При впливі лопат робочого колеса на рідину, за рахунок зміни течії, тиск над лопатою підвищується, а під нею знижується. Завдяки різниці тисків рідина буде переміщуватися вздовж осі насоса.

Робоче колесо осьових насосів типу ОП складається з втулки обтічної форми, на якій закріплені поворотні лопати (див. рис. 1.2). Можливість зміни кута установки лопат, дозволяє регулювати подачу і напір насоса в широких межах при збереженні високих значень ККД.

Привод насосів (більш детально нами буде розглянутий нижче). Для привода насосів використовуються переважно асинхронні короткозамкнені та синхронні двигуни змінного струму. У рідких випадках використовуються асинхронні двигуни з фазним ротором. Електродвигуни потужністю до 50 кВт виконуються на напругу 380 – 660 В, а вище – на 6 – 10 кВ. У ряді випадків, особливо в пересувних насосних установках, для привода насосів використовують двигуни внутрішнього згорання.

Трубопроводи. Трубопровідна арматура. Внутрішні трубопроводи насосних станцій (напірні та всмоктувальні лінії насосів, напірні та всмоктувальні колектори та ін.) виконуються зі сталевих труб. З'єднання сталевих труб здійснюється зварюванням. В якості трубопровідної арматури в насосних установках засувки, затвори, зворотні затвори.

Засувки великого діаметра, а також працюючі з дистанційним і автоматичним керуванням, обладнуються гідравлічними чи електричними приводами. Для врівноваження тиску по обох сторонах диска у великих засувках передбачається обвідна засувка (байпас).

У якості запірної і регулюючої арматури використовуються затвори. Широке поширення останнім часом одержали дискові затвори, що обладнуються електричними приводами. Зворотні затвори призначені для

того, щоб перешкодити спорожнюванню напірних трубопроводів і зворотному обертанню насоса після його зупинки.

Під час роботи насоса під дією потоку води диск повертається на осі, і вода проходить через затвор. Після зупинки насоса диск під дією власної ваги і тиску води з боку напірного водоводу опускається і затвор закривається [4-5].

1.3 Режими роботи насосних установок

Режими роботи насосних установок істотно залежать від зміни режимів водоспоживання або припливу стічної води. Це наочно виявляється при роботі систем водопостачання і водовідведенні.

Як правило, режими водоспоживання і припливу стічних вод визначаються багатьма причинами, які не залежать одна від одної: кліматичними і погодними умовами, режимом роботи підприємств і організацій міста та ін. Режим водоспоживання звичайно характеризується добовими, тижневими і т.д. графіками водоспоживання. На рис. 1.3. представлений приблизний добовий графік водоспоживання невеликого населеного пункту [4-5].

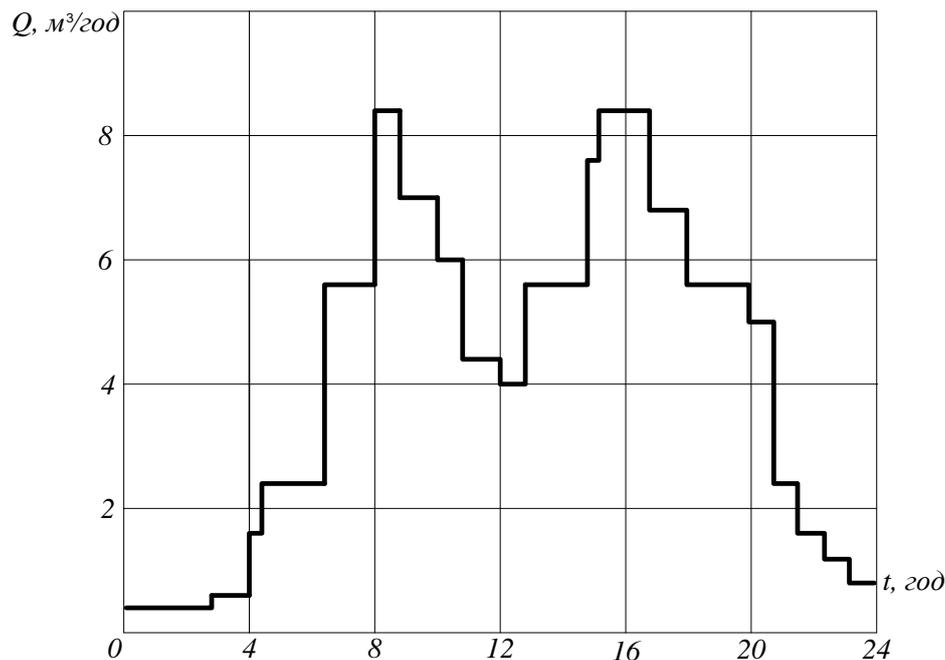


Рисунок 1.3 – Добовий графік водоспоживання населеного пункту

Такі графіки водоспоживання характеризуються, як правило коефіцієнтами нерівномірності [5].

Максимальний коефіцієнт нерівності:

$$K_{\max} = Q_{\max}/Q_{\text{ср}} \quad (1.1)$$

де Q_{\max} – максимальне водоспоживання;

$Q_{\text{ср}}$ – середнє значення водоспоживання.

Мінімальний коефіцієнт нерівномірності:

$$K_{\min} = Q_{\min}/Q_{\text{ср}} \quad (1.2)$$

де Q_{\min} – мінімальне водоспоживання.

Діапазон коливання водоспоживання характеризується відношенням:

$$\lambda = Q_{\min}/Q_{\max} \quad (1.3)$$

яке може бути також виражене через коефіцієнт максимальної і мінімальної нерівномірності:

$$\lambda = K_{\min}/K_{\max} \quad (1.4)$$

Режим роботи насосних установок промислових підприємств визначають головним чином технологічним процесом підприємства. Існують режими водоспоживання і перекачування, аналогічні режимам роботи міських водопровідних і каналізаційних насосних станцій. Насосні установки промислових підприємств можуть бути і з явно вираженим нічним і денним режимом водоспоживання (рис. 1.4.) [5].

Режим роботи теплофікаційних насосних установок, систем оборотного водопостачання істотно залежать від температури зовнішнього повітря, а отже, і від пори року, клімату і подачі. Робота насосних установок, що подають безпосередньо в мережу без проміжних ємностей у кожен момент часу, дорівнює водоспоживанню (при відсутності витоків і непродуктивних витрат). У дійсності в будь-якій системі водоподачі існують витoki і непродуктивні витрати, значення яких досягають в багатьох випадках 15-20% загальної подачі. Отже, подача насосної установки повинна бути більше водоспоживання саме на це значення.

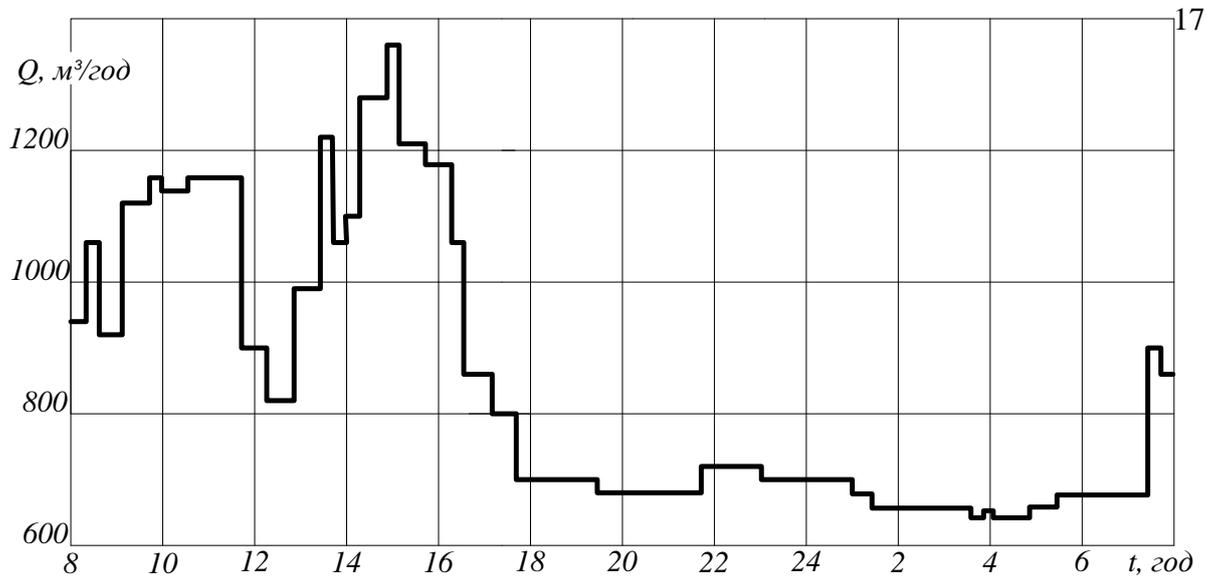


Рисунок 1.4 Добовий графік водоподачі насосної установки промислового комплексу

При стабільному водоспоживанні установки працюють з постійними подачею і тиском або напором, що між собою зв'язані співвідношенням:

$$H = p/\rho g \quad (1.5)$$

де H - напір, м;

p - тиск насоса, Па;

ρ - щільність рідкого середовища, кг/м³ ;

g - прискорення вільного падіння, м/с² .

З ростом водоспоживання, подачу доводиться збільшувати. При цьому втрати тиску в трубах збільшуються. Щоб компенсувати ці втрати, варто збільшити тиск, що розвивається насосною установкою. При зменшенні водоспоживання, подача і тиск повинні бути зменшені.

Приведення у відповідність водоспоживання і подачі здійснюється в даний час найчастіше зміною числа працюючих насосних агрегатів або ступеня відкриття засувки (затворів) на напірних лініях насосів і насосних установок.

Режим роботи насосної установки, що подає воду споживачам через кумулюючу ємність (резервуар, водонапірну башту і т.д.), 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 випадку рівності подачі і водоспоживання рівень у резервуарі стабілізується на одній позначці.

Регулювання режиму роботи насосної установки, що складається з одного агрегату, здійснюється включенням агрегату при зниженні рівня води до заданого нижнього значення і відключенням при досягненні заданого верхнього значення. Потім цикл повторюється.

Якщо насосна установка складається з декількох агрегатів, її режим роботи відрізняється тим, що задається по кілька верхніх і нижніх рівнів, при досягненні яких змінюється число працюючих агрегатів. Зі збільшенням водоспоживання частота включень агрегатів збільшується тривалість пауз зменшується. Оскільки при збільшенні водоспоживання обсяг рідини в резервуарі швидше спрацьовується при цьому рівень рідини швидше досягає нижнього положення і внаслідок цього частіше відбувається включення додаткових насосів.

Режим роботи насосних установок при відкачці рідини з резервуарів (каналізаційних, осушувальних, меліоративних і т.п.) аналогічний вищеприписаному з тією відмінністю, що агрегати включаються в роботу при наповненні резервуарів до верхніх рівнів, а відключаються при спорожнюванні до нижніх.

Число включень-відключень насосних агрегатів у насосних станціях з резервуарами досягає 40-50, а в ряді випадків 100 включень за добу.

Оскільки таке число включень для агрегатів великої потужності неприпустимо, в насосних установках з агрегатами потужністю понад 150 кВт замість їхніх включень - відключень застосовується дроселювання потоку води засувкою (затвором).

При збільшенні напору, рівень рідини в резервуарі, з якого рідина підкачується, піднімається. У цьому випадку засувка на напірній лінії насоса відкривається. Зі зменшенням напору рівень падає і засувка прикривається.

У насосних установках, що подають воду в резервуари, при збільшенні водоспоживання рівень у резервуарі падає. У цьому випадку засувки (затвори) на напірних лініях відкриваються. При зменшенні водоспоживання рівень піднімається, а засувка (затвор) у цьому випадку прикривається.

Контроль за режимом роботи насосної установки здійснюється за допомогою наступних вимірювальних пристроїв: манометрів, рівнемірів, лічильників електроенергії, амперметрів і т.д. Зміна режиму роботи насосної установки впливає на режим роботи окремих насосних агрегатів, з яких складається установка [6].

Аналіз режиму роботи насосних установок виконується з використанням характеристик насосів і трубопроводів, які більш детально будуть розглядатися далі.

Характеристиками насосів називаються залежності напору H , потужності P , коефіцієнта корисної дії η від подачі насоса Q при визначеній частоті обертання n робочого колеса з діаметром D .

Робота насоса найбільш економічна, коли його подача і напір відповідають максимальному значенню ККД. Разом з тим допускається деяке відхилення робочих параметрів цих насосів від значень, зазначених у каталогах. Однак вони при цьому не повинні виходити за межі подач насоса, що рекомендуються. За цими межами насоси працюють з низькими значеннями ККД, при цьому можливе перевантаження насосного агрегату, а також існує небезпека виникнення кавітації і помпажу. Порушення суцільності потоку рідини, супроводжуване утворенням пухирців, заповнених парами рідини, газами або їх сумішшю, називається кавітацією [4-5].

Явище кавітації супроводжується додатковими втратами енергії і руйнуванням поверхонь робочого колеса і корпусу насоса. У насосах, характеристика $Q - H$ яких складається з двох гілок, зростаючої і спадаючої,

можливе виникнення явища, що називається помпажем. У цьому випадку можливе перетинання характеристики трубопроводу з характеристикою насоса в двох точках. При цьому насос працює поперемінно з робочими параметрами, що відповідають цим двом точкам, а вся система працює хитливо, міняється навантаження на агрегаті, виникають гідравлічні удари. Робота насоса в режимах помпажу і кавітації неприпустима.

1.4 Насосна установка підвищення тиску

Ефективне водопостачання - ключ до прогресу та комфорту. Насосна установка підвищення тиску складається із трьох насосів NBE32-160.163 з'єднаних паралельно, оснащений необхідною арматурою і щитом керування

Використовується для систем із значними змінами рівня добового водопостачання, а саме:

- несподіване коливання в діапазоні між мінімальним та максимальними рівнями споживання;
- довгострокові та неперервні зміни рівня споживання;
- постійний тиск.

Можливе також використання для потреб промисловості, зрошення і т.д. так як діапазон функцій, що виконує привід широкий:

- регулювання робочих характеристик;
- автоматичне каскадне регулювання насосів;
- автоматичне перемикання між робочими насосами (для забезпечення рівної кількості годин роботи кожного із насосів);
- ручне керування (забезпечує тестування окремих насосів);
- різноманітна дія на робочу точку;
- функція цифрового дистанційного керування (забезпечує пуск та зупинку, системи, економний режим роботи, контролює кількість робочих насосів, робота в режимі пожежогасіння);

- функція контролю насосу та пристрою (забезпечує завдання мінімального та максимального значення вимірювальної величини, захист вигуна);

- відображення режимів роботи та аварій.

На рис.1.5. зображено функціональну схему насосної установки: [5].

1 - щит керування насосами ЩКН-3;

2 - напірний трубопровід;

3 - всмоктуючий трубопровід;

4 - насос NBE32-160.163;

5 - датчик тиску;

6 - запірний клапан;

7 - зворотній клапан;

8 - гнучка вставка;

9 - реле тиску;

10 - манометр.

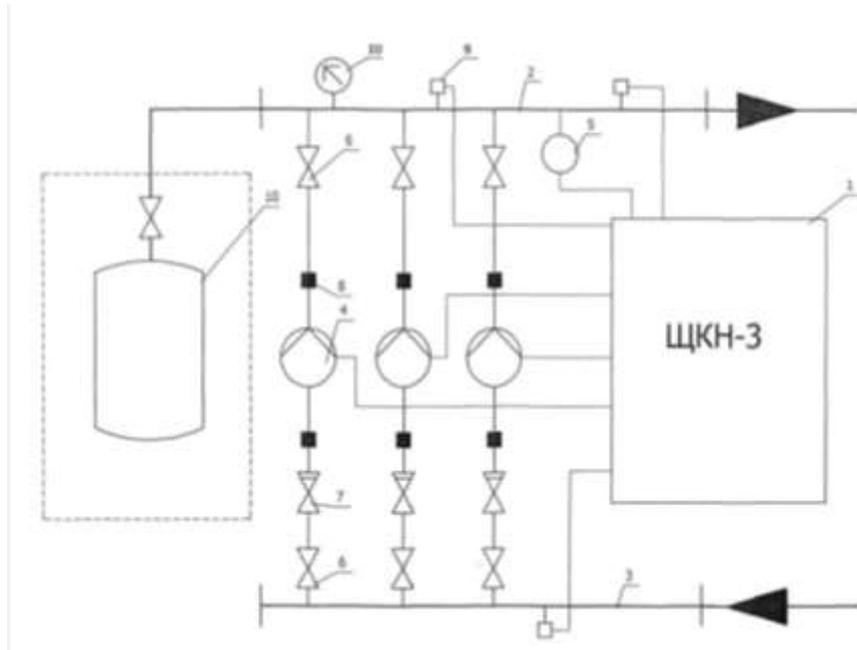


Рисунок 1.5 Функціональна схема насосної установки

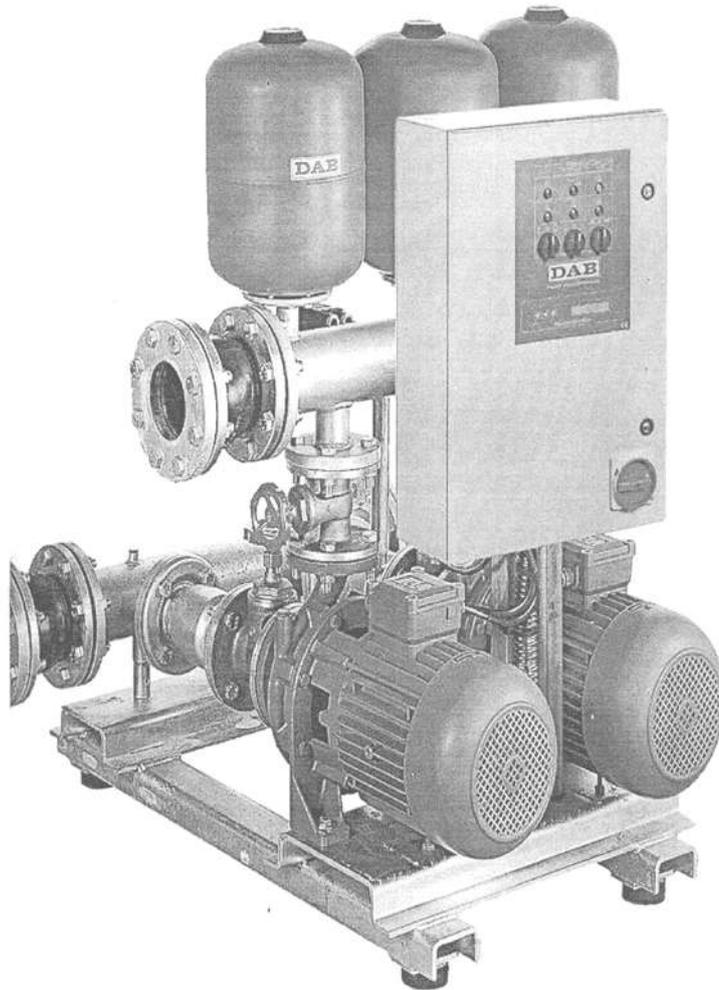


Рисунок 1.6 Нососна установка підвищення тиску

1.5 Технічні вимоги до електропривода

1.5.1 Вимоги до комплексу розв'язуваних завдань

Для реалізації завдання керування насосної установки, електропривод повинен забезпечувати:

- пуск і зупинку насоса;
- автоматичну зміну частоти обертання вала двигуна для підтримки постійного тиску в споживчій мережі;
- екстерну зупинку насоса у випадку надходження аварійного сигналу від датчика (при відхиленні параметрів від припустимих технологічних меж);

- захист від аварійних режимів роботи електродвигуна

1.5.2 Вимоги до перехідних процесів

Характеристики перехідних процесів повинні задовольняти наступним вимогам:

- статична помилка в сталих режимах роботи дорівнює 0;
- перерегулювання при пуску не більше 20%;
- перерегулювання при підвищенні або скиданні навантаження не більше 20%.

1.5.3 Вимоги до безпеки

При проектуванні АСК повинні бути передбачені заходи щодо забезпечення безпеки при монтажі, експлуатації, обслуговуванню й ремонту технічних засобів відповідно до діючих на території України нормативних документах.

- „Санітарні норми проектування промислових підприємств”;
- „Правила улаштування електроустановок”;
- „Пожежна автоматика будинків і споруджень”;
- „Система стандартів безпеки праці (ССБП). Устаткування виробниче. Загальні вимоги безпеки”;
- „ССБП. Кольори сигнальні й знаки безпеки”;

Всі зовнішні елементи технічних засобів АСУ, що перебувають під напругою, повинні мати захист від випадкового дотику:

- повинен бути обмежений доступ до обертових частин насосної установки.
- електричні елементи повинні мати захисне занулення.
- повинні бути вжиті заходи по обмеженню рівня виробничого шуму, а також передбачені засоби пожежегасіння [6-7].

1.5.4 Вимоги до ергономіки й технічної естетики

Насосна установка повинна розташовуватися в добре освітленому, опалювальному приміщенні, у місці зручному для її обслуговування технічним персоналом, що дозволить забезпечити швидкість, простоту, економічність технічного обслуговування й ремонту в нормальних і аварійних умовах.

Конструкція й розташування щитів, пультів, повинні забезпечити видимість і простоту обслуговування.

На устаткуванні повинні бути встановлені таблички й нанесені позначення для забезпечення швидкості монтажу й ремонту.

1.5.5 Вимоги до експлуатації, технічному обслуговуванні й ремонту компонентів системи

Насосна установка повинна розміщуватися в закритому приміщенні, що виключає дію атмосферних опадів і встановлюватися на спеціальний фундамент.

Площа приміщення повинна відповідати вимогам підприємств-виготовлювачів по розміщенню й обслуговуванню технічних засобів і санітарних норм.

При проектуванні електропостачання й систем штучного освітлення приміщень для розміщення технічних засобів необхідно виконувати вимоги „Правил улаштування електроустановок”.

Перераховані вище вимоги розробляються на стадії технічного проекту й додаються в завданні на проектування приміщень.

Повинна бути розроблена інструкція з техніки безпеки при експлуатації насоса, де дані чіткі вказівки по:

- монтажу;
- підключенню електроустаткування;
- введення в експлуатацію;
- обслуговуванню.

1.5.6 Вимоги до економічної доцільності

Застосування розробленої насосної установки повинне забезпечити значний економічний ефект, а саме:

- економію електроенергії;
- економію рідини, що перекачує насос;
- зменшення кількості устаткування, що приймають участь у процесі роботи установки;
- підвищення терміну служби експлуатованої трубопровідної мережі;
- дешевизну використовуваного устаткування;
- короткий строк окупності.

2 Розрахунково-конструкторська частина

2.1 Техніко – економічне обґрунтування вибору системи електроприводу

Розглянемо питання вибору способу керування насосною установкою враховуючи економічність різних способів керування насосами.

Регулювання роботи насосної установки має за мету зміну її основних параметрів: подачі Q та напору H . Регулювання можна здійснювати двома методами: зміною характеристик мережі (дроселювання) або зміною безпосередньо характеристик насосу (зміна швидкості обертання електродвигуна). Розглянемо два найбільш використовуваних способи регулювання: дроселювання та зміна швидкості обертання електродвигуна. Нехай в розроблюваній системі, яка працює з номінальним для обраного типу насосу параметрами $Q_{ном} = 27,7 \text{ м}^3/\text{год}$, $H_{ном} = 29 \text{ м}$, відбувається зміна подачі $QR = 20 \text{ м}^3/\text{год}$. Розглянемо яким чином буде відбуватися регулювання в системі. Побудуємо характеристики насосу і мережі розрахунковим шляхом, знайдемо споживану потужність та економію потужності за даних умов при обраних двох способах регулювання.

2.1.1 Спосіб регулювання засувкою (дроселюванням)

Заснований на збільшенні опору напірної лінії – введення засувок призводить до збільшення гідродинамічного опору магістралі. Побудуємо характеристики регулювання.

Таблиця 2.1 – Характеристика насосу і ККД.

$Q, \text{м}^3/\text{год}$	0	5	10	15	20	25	27,7	30	35
$H, \text{м}$	36,2	36	35,5	34,3	32,7	30,2	29	27	23
$\eta, \%$	0	19,4	38,4	55,7	70,4	84,3	87	86,1	85,6

Таблиця 2.2 – Характеристика мережі

Q, м ³ /год	0	5	10	15	20	25	27,7
H, м	0	2	5,2	9,6	16	24,5	29

Робочій точці A на перетині характеристик насоса і магістралі відповідає подача $Q_A = 29 \text{ м}^3/\text{год}$. За умовами роботи до системи буде подаватися рідина з витратами $Q_R = 20 \text{ м}^3/\text{год}$, що менше ніж витрати Q_A .

Для зменшення подачі насоса прикривають засувку на його напірному патрубку. Щоб наочно представити режим роботи насоса з прикритою засувкою, побудуємо так звану дросельну криву або ж дросельну характеристику мережі.

Різниця ординат точок $R-R_1 = h_d = 16,3 \text{ м}$ є зайвий напір, який необхідно „погасити” опором засувки. Обчислимо надлишкові напори h_{d1} , h_{d2} , ..., h_d , що відповідають витратам Q_1 , Q_2 , ..., Q_N , по відомих виразах:

$$h_{d1} = h_d(Q_1/Q_R)^2 = 9,1 \text{ м}, \quad h_{d2} = h_d(Q_2/Q_R)^2 = 4,075 \text{ м} \quad h_{d3} = h_d(Q_3/Q_R)^2 = 1,018 \text{ м}.$$

Величина h_{d1} , h_{d2} , ..., h_{dn} відкладаємо вгору від відповідних точок характеристик $Q - H$ мережі й отримані точки з'єднаємо кривою, тобто одержимо так звану дросельну характеристику насоса.

Розраховані таким чином значення характеристики мережі приведені в таблиці.

Таблиця 2.3 – Дросельна характеристика мережі

Q, м ³ /год	0	5	10	15	20
H, м	0	6,577	22,987	43,3	77

2.1.2 Спосіб регулювання зміною швидкості обертання електродвигуна

Характеристики насосу і магістралі до початку регулювання такі ж як і при дроселюванні.

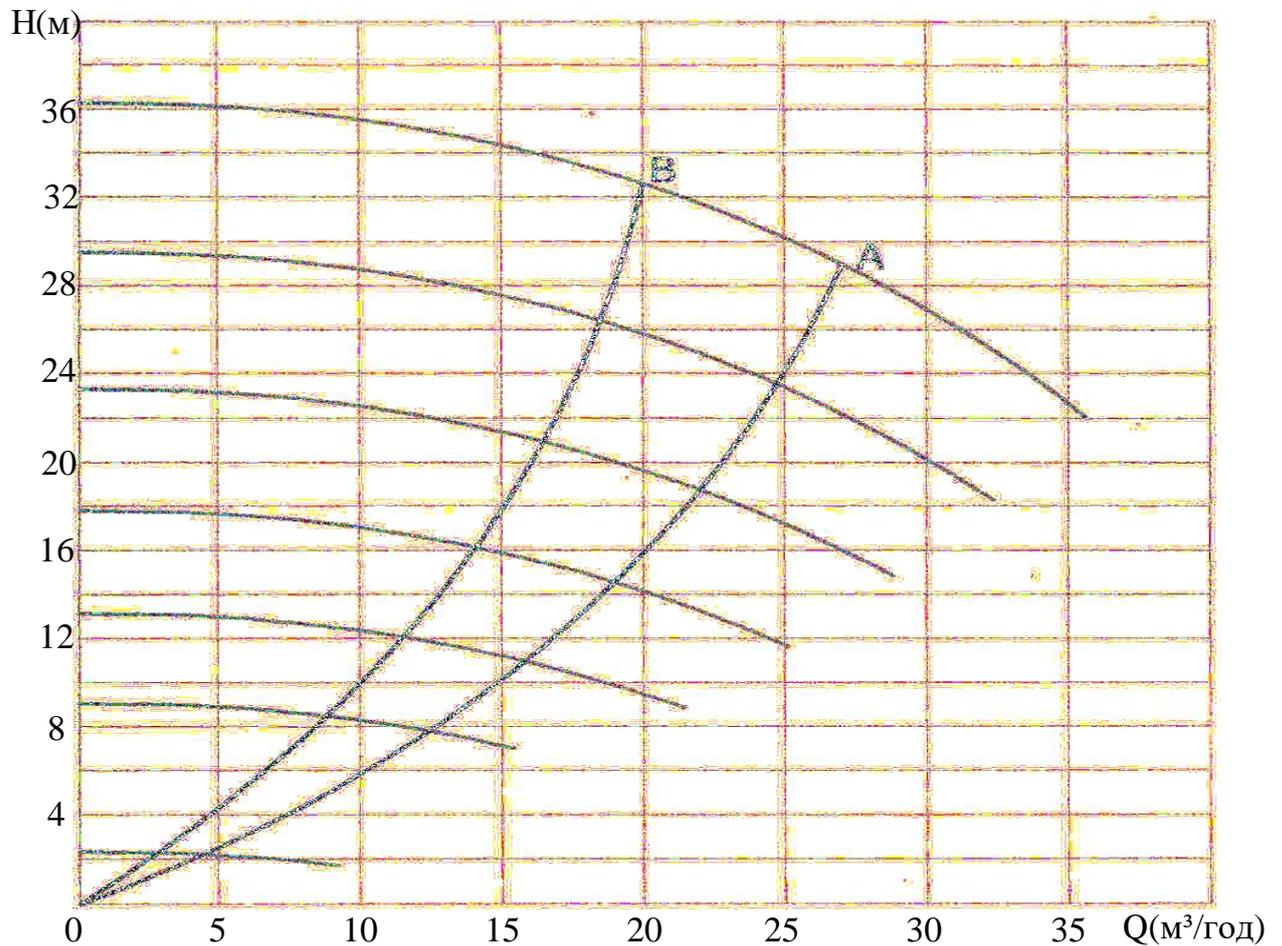


Рисунок 2.1 Характеристика насосу і мережі при дроселюванні.

Характеристика насосу і ККД

Таблиця 2.4

Q, м ³ /год	0	5	10	15	20	25	27,7	30	35
H, м	36,2	36	35,5	34,3	32,7	30,2	29	27	23
η , %	0	19,4	38,4	55,7	70,4	84,3	87	86,1	85,6

Таблиця 2.5 Характеристика мережі

Q, м ³ /год	0	5	10	15	20	25	27,7
H, м	0	2	5,2	9,6	16	24,5	29

Частоту обертання n_1 вибирають такою, щоб характеристика $Q - Hn_1$ насоса пройшла через робочу точку $R1$ при заданій подачі $Q_R = 20 \text{ м}^3/\text{год}$, а не через точку характеристики $Q - Hn$.

Розрахунок необхідної частоти регулювання здійснюється за формулою:

$$n_1 = Q_R / Q_A = 20 / 27,7 = 0,72 \quad (2.1)$$

Точки характеристики $Q - Hn_1$ насоса знаходять шляхом перерахування у заданому співвідношенні:

$$Q_1 = Q_1 \frac{\omega_1}{\omega_1} \quad H_1 = H_1 \left(\frac{\omega_1}{\omega_1} \right) \quad (2.2)$$

Розраховані таким чином значення характеристики насоса приведені в таблиці.

Таблиця 2.6 Характеристика насоса при зміні швидкості обертання

$$\omega = 0,72 \omega_{\text{ном}}$$

Q, м ³ /год	0	3,6	7,2	10,8	14,4	18	19,9	21,6	25,2
H, м	21,5	21,4	21,1	20,4	19,4	17,97	17,2	16	13,6

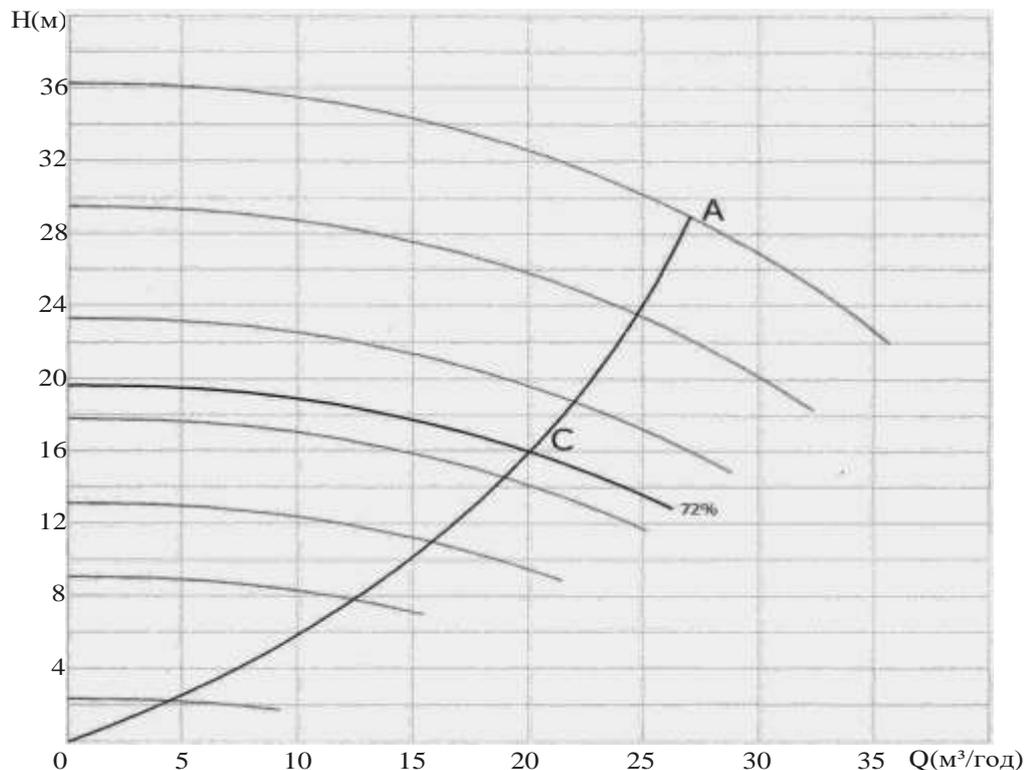


Рисунок 2.2 Характеристика насоса і мережі при зміні частоти

З'ясуємо який з розглянутих двох способів регулювання більш економічний. Для цього виконаємо ряд розрахунків.

Знайдемо споживану потужність при дросельному регулюванні:

$$P_{DP} = \frac{gQH_1\rho}{\eta_1} = \frac{9.81 \cdot 20 \cdot 32.8 \cdot 1}{3600 \cdot 0.76} = 2358 \text{ Вт} \quad (2.3)$$

Знайдемо споживану потужність при регулюванні зміною швидкості обертання електродвигуна:

$$P_{ШВ} = \frac{gQH_2\rho}{\eta_2} = \frac{9.81 \cdot 20 \cdot 16 \cdot 1}{3600 \cdot 0.76} = 1147 \text{ Вт} \quad (2.4)$$

g – прискорення вільного падіння;

Q – подача при регулюванні;

ρ – густина рідини;

H_1 – напір при дроселюванні;

H_2 – напір при зміні швидкості обертання;

η_1 – ККД при дроселюванні;

η_2 – ККД при зменшенні швидкості обертання (розрахунок здійснюється

по розрахунковим кривим).

Знайдемо економію потужності:

$$P_{ЕК} = \frac{P_1 - P_2}{\eta_{ДВ}} = \frac{2358 - 1147}{0.9} = 1,33 \text{ кВт} \quad (2.5)$$

$\eta_{ДВ}$ – приблизний ККД електродвигуна.

Можна зробити висновок, що споживання електроенергії за рахунок зміни швидкості обертання електродвигуна в порівнянні з дроселюванням знизилася. Зменшення споживаної потужності відбулося за рахунок зменшення напору та збільшення ККД.

Отже, вибираємо в якості способу керування розроблюваною насосною установкою – спосіб регулювання шляхом зміни швидкості обертання електродвигуна за допомогою перетворювача частоти. Цей спосіб, виходячи з проведених розрахунків є технічно й економічно більш доцільним.

2.2 Розрахунок потужності і вибір двигуна

На основі проведеного раніше аналізу та поданих вище розрахунків для розроблюваної системи вибираємо асинхронний електродвигун з КЗ ротором. Зробимо розрахунок необхідної потужності електродвигуна.

$$P_{роз} = \frac{gQH\rho}{\eta_n \eta_p} k_3 = \frac{9,81 \cdot 29 \cdot 27,7 \cdot 1}{3600 \cdot 0,86 \cdot 0,8} 1,3 = 3859 \text{ Вт} \quad (2.6)$$

g – прискорення вільного падіння;

Q – номінальна подача насосу;

ρ – густина рідини;

H – номінальний напір насосу;

η_n – ККД насосу;

η_p – ККД передачі;

k_3 – коефіцієнт запасу.

Вибираємо найближчий за потужністю асинхронний короткозамкнений двигун типу АИР100S2 потужністю 4 кВт.

Параметри електродвигуна

Номінальна потужність	$P_{ном}$, кВт	4
Фазна напруга	$U_{фн}$, В	380-415
Номінальна частота обертання	n_n , об/хв	2850
Ковзання	S_n , %	5
ККД	η_n , %	87
$\cos\varphi$		0,88
$m_n = M_n / M_n$		2
$m_m = M_{min} / M_n$		1,6
$m_k = M_{max} / M_n$		2,2
$i_n = I_n / I_n$		7,5
Момент інерції двигуна	$J_{д,р}$, кг·м ²	0,0059
Частота	f , Гц	50
Кількість полюсів	p	2
Номінальний струм	I_n , А	7,9

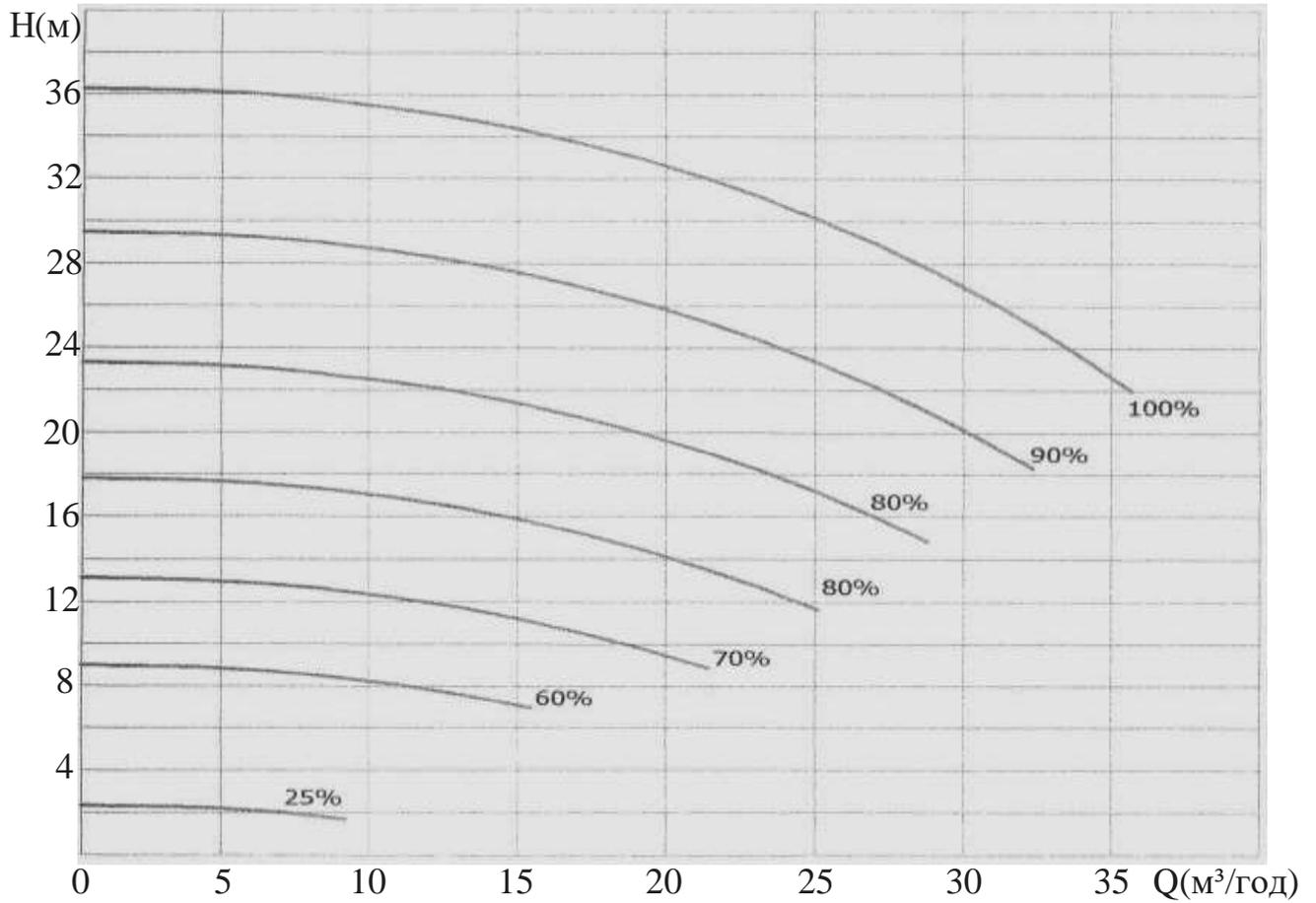
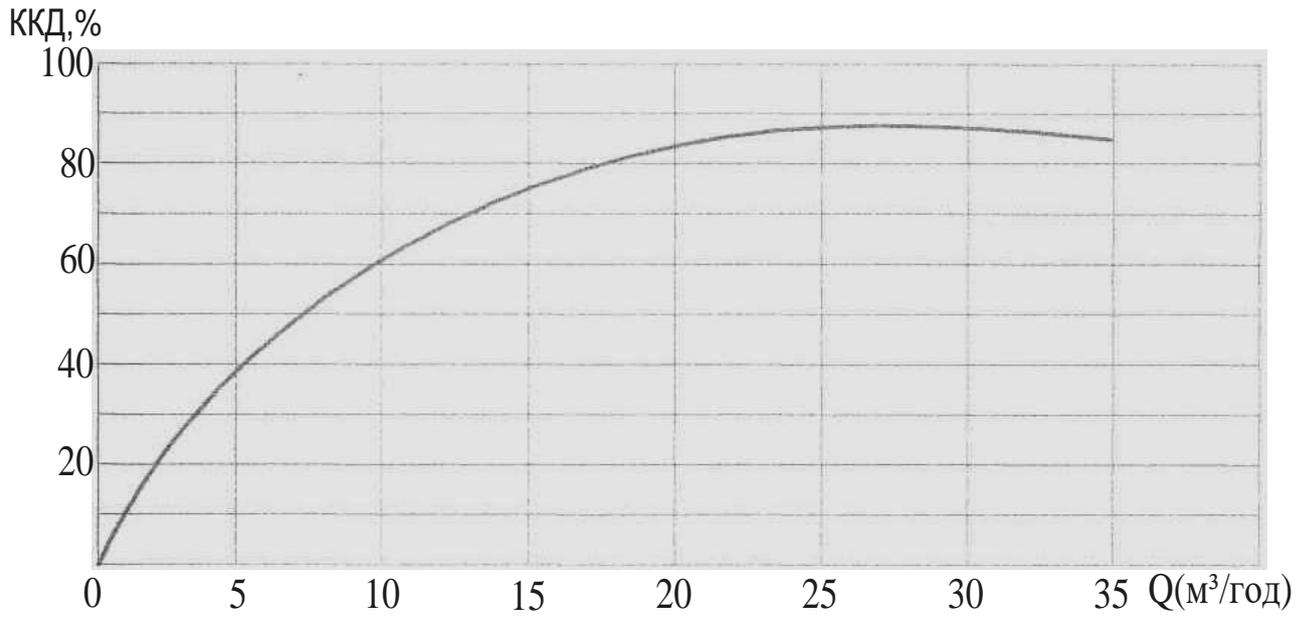


Рисунок 2.3. Характеристика насоса і ККД

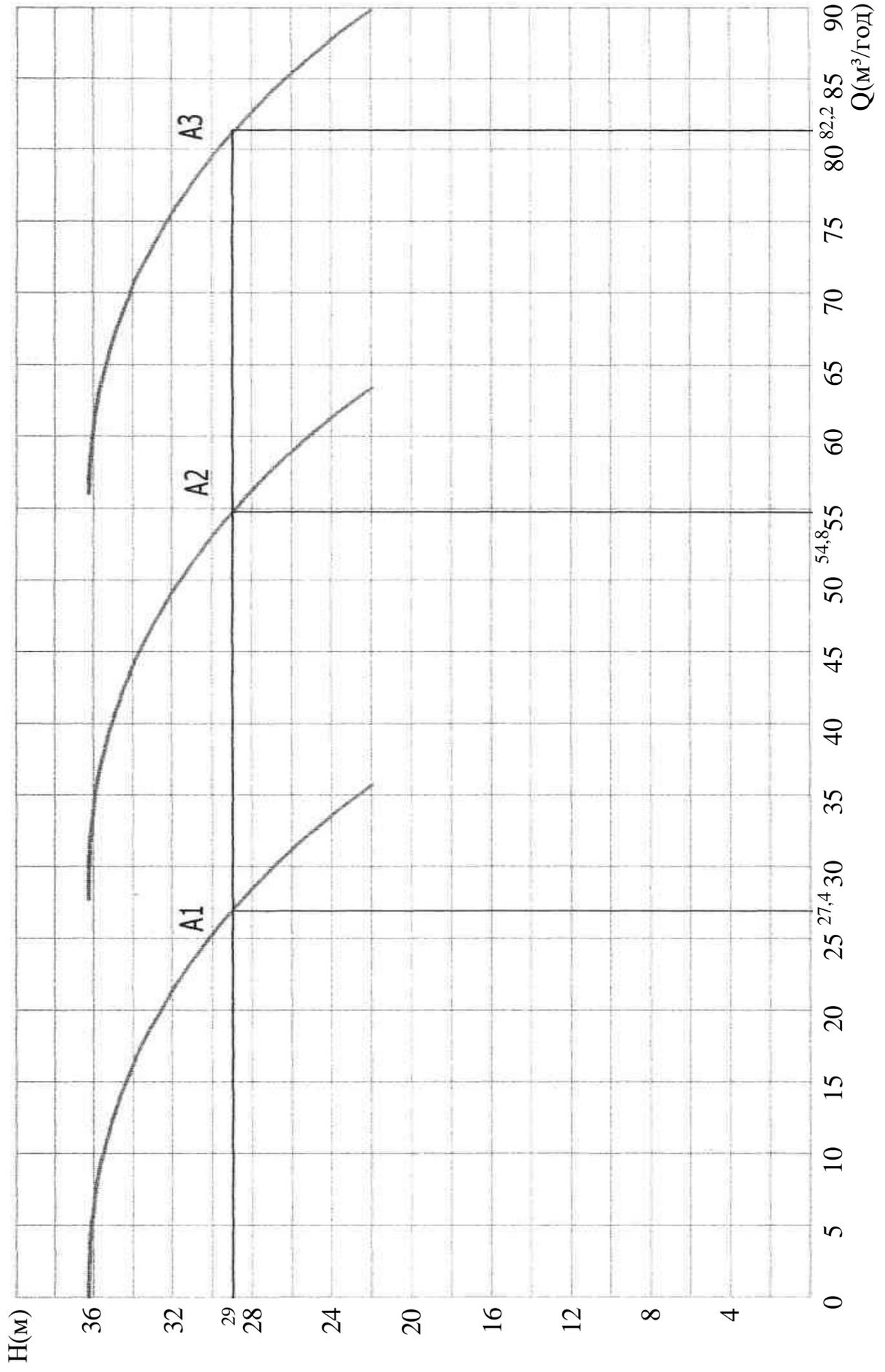


Рис. 2.4 Характеристика насосів при паралельній роботі

Насос NBE-32-163 3 шт

Температура рідини -25...+90
Номинальна подача 27,4 м/год
Діаметр робочого колеса 163 мм
Тип ущільнення валу GQQE
Матеріал корпусу чугун
Матеріал робочого колеса бронза
Максимальний робочий тиск 16 бар
З'єднання труб стандартне
Розмір вхідного патрубку DN 50
Розмір вхідного патрубку DN 35
Маса 54 кг

2.3 Вибір силових елементів**Перетворювач частоти AMD-F-0013**

Максимальна потужність двигуна 5,5 кВт
Максимальна вихідна потужність ПЧ 9,5кВА
Максимальний вихідний струм ПЧ 13А
Вхідна напруга 3 фази (342...582В)
Вхідна частота напруги (47...63Гц)
Вихідна напруга рівна вхідній
Частота несучої вихідної напруги регулюється від 1Гц до 15кГц
Система модуляції широтно імпульсна, вихідна напруга по синусу
дискретність вихідної частоти 0,01Гц
Перевантажувальна здатність 150% номінального струму ПЧ на протязі
1хв.
Час розгону / уповільнення регулюється від 0,1 до 3600 сек.

Захисні функції – само тест, перенапруга, перевантаження, недонапруга, перегрів ПЧ, зовнішня помилка, електрозахист двигуна від перегріву, коротке замикання на землю, зверхструм.

Вхідний фільтр Commander SE.

Контролер PFU-1000 (24V) з програмами керування

Вимикач автоматичний ВА47-100

Трьох полюсний

Номінальний струм 40А

Характеристика спрацювання D.

Магніто термічний вимикач GV2-M16

Теплове реле

Номінальний струм 9...16А

Додаткові контакти 2НО, 1НЗ.

Вимикач автоматичний ВА47-100

Трьох полюсний

Номінальний струм 16А

Характеристика спрацювання D.

Контактор КМИ 11210(B5)

Напруга спрацювання котушки 24В

Струм розчеплення 12А

Механізм блокування для КМИ МБ40-95

Датчик тиску мембранний SEN-32

3 Розробка системи автоматичного керування і розрахунок елементів

3.1 Розробка системи автоматичного керування

Перед тим як перейти до математичного опису об'єкта, варто розглянути основні принципи частотного керування. При зміні частоти струму f_1 пропорційно буде змінюватися швидкість холостого ходу ω_0 :

$$\omega_0 = \frac{2\pi f_1}{p} \quad (3.1)$$

де p – число пар полюсів обмоток статора.

Магнітний потік Φ змінюється обернено пропорційно частоті:

$$U_\phi \approx E_{1\phi} = 4,47 f_1 w_1 \phi_1 \quad (3.2)$$

де $E_{1\phi}$ – електрорушійна сила (ЕРС) статора;

w_1 – число витків обмотки фази статора.

Тому, що в номінальному режимі магнітна система двигуна насичена, то при номінальній напрузі $U_{ном}$ припустиме тільки збільшення частоти живлячої напруги. Тоді при значенні f_1 більшому $f_{ном}$, відповідно збільшується ω_0 й індуктивний опір короткого замикання X_k і зменшиться магнітний потік Φ , збільшення ω_0 і X_k викликає зменшення критичного моменту $M_{кр}$:

$$M_{кр} = \frac{3U_{1\phi}^2}{2\omega_0 [R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + R_k^2}]} \quad (3.3)$$

де R_1 – активний опір обмотки статора.

Критичне ковзання $S_{кр}$ зі збільшенням X_k зменшиться:

$$S_{кр} = \pm \frac{R_2'}{\sqrt{R_1^2 + X_k^2}} \quad (3.4)$$

де R_2' – активний опір обмотки ротора.

При зменшенні частоти $f_1 < f_{ном}$ знижується кутова швидкість ω_0 , а магнітний потік Φ збільшується. Це призводить до глибокого насичення магнітного ланцюга й збільшення струму, що намагнічує, (що у свою чергу викликає зниження енергетичних показників двигуна (ККД, \cos). Для того,

щоб потік Φ при збільшенні або зменшенні частоти f_1 залишався постійним, необхідно при зміні частоти в цій же кратності, змінити напругу U_1 , тобто змінювати ці величини так, щоб:

$$\frac{U_1}{f_1} = \text{const} \quad (3.5)$$

При дотриманні цієї умови, критичний момент змінюється – збільшується зростанням частоти й зменшується з її зниженням.

Регулювання при $U_1/f_1 = \text{const}$, доцільно для електроприводів з $M_c = \text{const}$, тобто з постійним статичним моментом. Якщо M_c виробничого механізму змінюється при регулюванні швидкості так, що потужність $P_c = M_c \omega$, то регульоване джерело змінного струму повинне забезпечувати зміну U_1 і f_1 , у таких межах, щоб $U_1/\sqrt{f_1} = \text{const}$. Для вентиляторної (насосної) установки навантаження ($M_c = \text{var}$) при регулюванні кутової швидкості значення U_1 і f_1 повинні помінятися так, щоб $U_1/f_1^2 = \text{const}$.

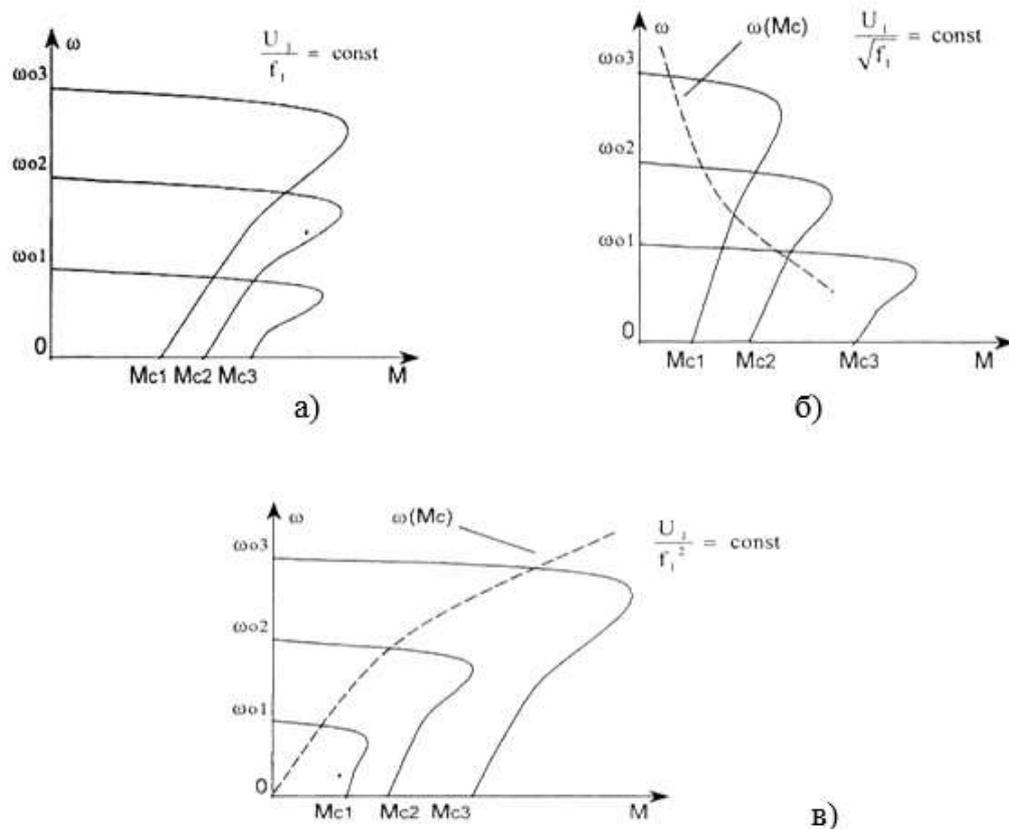


Рисунок 3.1 Механічні характеристики асинхронного двигуна при регулюванні зміною частоти живильної мережі

Таким чином, закон зміни напруги визначається не тільки частотою f_1 , але й характером зміни моменту статичного навантаження M_c на валу двигуна.

На рис. 3.1, *a* наведені характеристики при $M_c = \text{const}$, на рис. 3.1, *б* – при $P_c = \text{const}$, на рис. 3.1, *в* – при $M_c = \text{var}$ [15].

Спосіб регулювання кутової швидкості зміною f_1 дозволяє одержати тверді механічні характеристики. Втрати потужності при роботі на регульованих характеристиках не великі, тому що двигун працює на лінійних ділянках механічних характеристик при невеликих значеннях ковзання. При наявності відповідного перетворювача частоти можна одержати будь-яку плавність регулювання.

3.1.1 Асинхронний короткозамкнений електродвигун

На основі Т-подібної схеми заміщення й схеми динамічної узагальненої електричної машини виробляється математичний опис асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором і розробка його динамічної моделі [15].

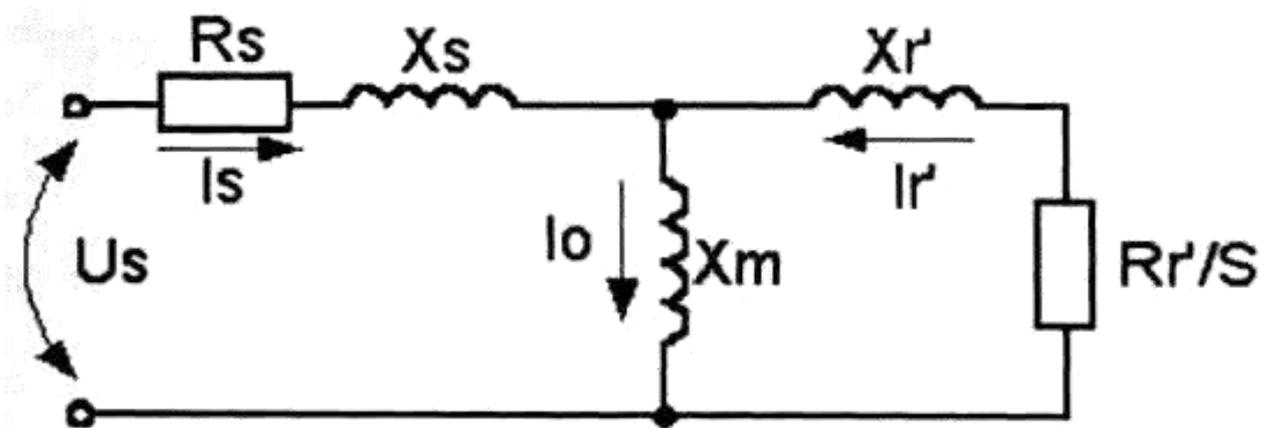


Рисунок 3.2 Схема заміщення АД

Параметри схеми заміщення:

$$X_1 = X_1' \frac{U_{1\phi n}}{I_{1\phi n}}$$

$$X_2' = X_2'' \frac{U_{1\phi n}}{I_{1\phi n}} \quad (3.6)$$

$$R_1 = R_1' \frac{U_{1\phi n}}{I_{1\phi n}}$$

$$R_2' = R_2'' \frac{U_{1\phi n}}{I_{1\phi n}}$$

X_μ - головний індуктивний опір;

R_1', X_1' – активний та індуктивний опори статора;

R_2', X_2' – активний та індуктивний опори обмотки ротора;

X_1, X_2'', R_1, R_2'' – опір статора й ротора, Ом;

$U_{1\phi n}, I_{1\phi n}$ – номінальні значення фазної напруги і струму.

При математичному описі АД, як об'єкта керування, приймаються наступні допущення:

- сили, що намагнічують, обмотки двигуна розподіляються строго синусоїдально вздовж окружності повітряного зазору;
- втрати в “сталі” статора й ротора відсутні;
- обмотки статора й ротора строго симетричні зі зрушенням осі на 120° ;
- насичення магнітного ланцюга відсутній.

При математичному описі асинхронного двигуна є система, описана рівняннями:

$$\begin{aligned} U_{sx} &= L_{sx}R_s + \frac{d\Psi_{sx}}{dt} - \omega_l\Psi_{sy} \\ U_{sy} &= L_{sy}R_s + \frac{d\Psi_{sy}}{dt} - \omega_l\Psi_{sx} \\ U_{rx} &= L_{rx}R_r + \frac{d\Psi_{rx}}{dt} - (\omega_l - \omega)\Psi_{ry} \\ U_{ry} &= L_{ry}R_r + \frac{d\Psi_{ry}}{dt} - (\omega_l - \omega)\Psi_{rx} \end{aligned} \quad (3.7)$$

а також вираження для потокозчеплення статора й ротора:

$$\begin{aligned}\Psi_{sx} &= L_{sx}L_s + L_{rx}L_m \\ \Psi_{sy} &= L_{sy}L_s + L_{ry}L_m \\ \Psi_{rx} &= L_{rx}L_r + L_{sx}L_m \\ \Psi_{ry} &= L_{ry}L_r + L_{sy}L_m\end{aligned}\quad (3.8)$$

де L_s , L_r , L_m – еквівалентні індуктивності обмотки статора, наведеної ротора й ланцюга намагнічування відповідно.

У якості основної математичної моделі для дослідження приймається в даній роботі модель, описана в системі координат, що обертається з частотою біля статора й орієнтованої по напрузі статора.

Для такої моделі справедливі наступні співвідношення:

$$\begin{aligned}\bar{\Psi}_s &= \Psi_{sx} + \Psi_{sy} \\ \bar{\Psi}_r &= \Psi_{rx} + \Psi_{ry} \\ \bar{U}_s &= U_{sx} \\ \bar{U}_r &= 0\end{aligned}\quad (3.9)$$

Для настроювання регуляторів системи керування буде використовуватися, так звана, лінеаризована модель АД. Вона будується виходячи з того, що нелінійна механічна характеристика двигуна представляється лінійною на робочій ділянці.

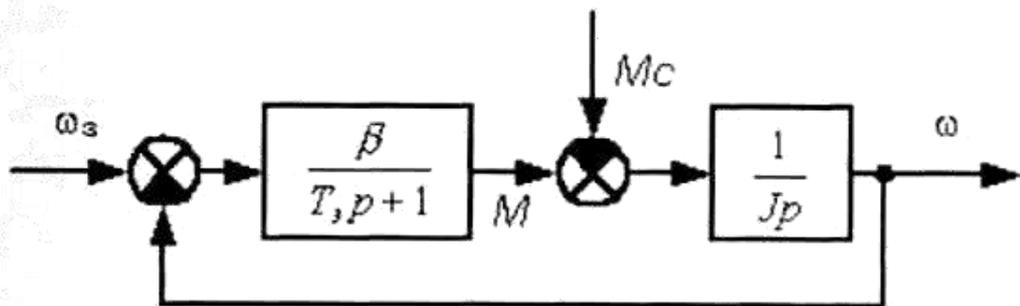


Рисунок 3.3 Лінеаризована модель АД

де T_e – електромеханічна постійна часу;

β - коефіцієнт, що визначає твердість характеристики.

3.1.2 Перетворювач частоти з ланкою постійного струму

До складу перетворювача частоти з ланкою постійного струму входить випрямляч, фільтр й автономний інвертор напруги.

Транзисторний перетворювач являє собою нелінійний дискретний динамічний об'єкт з обмеженою керованістю, однак можна говорити, що специфіка ТрП, як нелінійного об'єкта мало позначається на роботі системи. Частота зрізу контуру в якому він перебуває значно нижче частот, істотних для динаміки транзисторного перетворювача, при цьому час перехідних процесів у системі помітно перевищує період дискретизації системи. Найчастіше, випрямляч при розробці систем керування електроприводами представляють у вигляді аперіодичної ланки з коефіцієнтом передачі K_v і постійної часу T_v , а інвертор і зовсім як безінерційна ланка K_n .

Математичний опис динамічних процесів у ланці постійного випрямленого струму з фільтром описується наступною системою рівнянь: [13].

$$I_c' = C_o \frac{dU_u}{dt}$$

$$I_\phi = I_c + I_e \quad (3.10)$$

$$U_d = I_\phi R_\phi + I_\phi \frac{dL_\phi}{dt} + U_u$$

Таким чином, описаний вище елемент системи має структуру, як показано на рисунку.

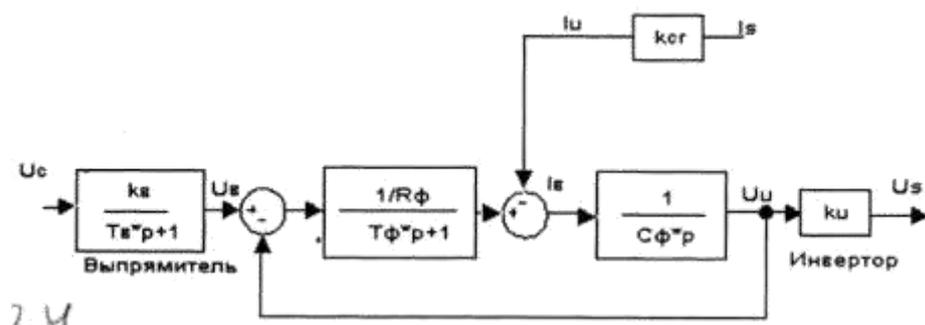


Рисунок 3.4 Модель перетворювача частоти з ланкою постійного струму

Для настроювання регуляторів системи керування буде використовуватися лінеаризована модель перетворювача (рис. 3.5):

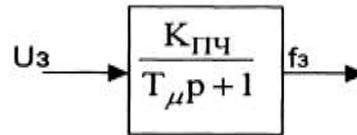


Рисунок 3.5 Лінеаризована модель перетворювача частоти
де $K_{ПЧ}$ – коефіцієнт підсилення перетворювача частоти;

T_{μ} - постійна часу ПЧ.

Насос

Основними параметрами насоса є напір і подача.

Подачею Q називається обсяг рідини, що подається насосом в одиницю часу.

Напір H визначається як різниця змісту енергії в 1кг рідині (питомої енергії) на ділянці від входу в насос до виходу з нього.

При перерахуванні насосів на нові частоти обертання вала, широко використовуються формули подоби, які дозволяють одержати параметри насоса при нових режимах роботи, і мають вигляд:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} \quad (3.11)$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \frac{\omega_1^2}{\omega_2^2}$$

Нехай $Q_2=Q_H$, $H_2=H_H$, $\omega_2=\omega_H$; $Q_1=Q^*$, $H_1=H^*$, $\omega_1=\omega^*$;

де Q_H , H_H , ω_H – номінальні значення параметрів насосної установки;

Q^* , H^* , ω^* – поточні значення параметрів насосної установки.

Тоді рівняння прийме вигляд:

$$\frac{Q^*}{Q_H} = \frac{\omega^*}{\omega_H} \quad (3.12)$$

$$\frac{H^*}{H_H} = \frac{\omega^{*2}}{\omega_H^2}$$

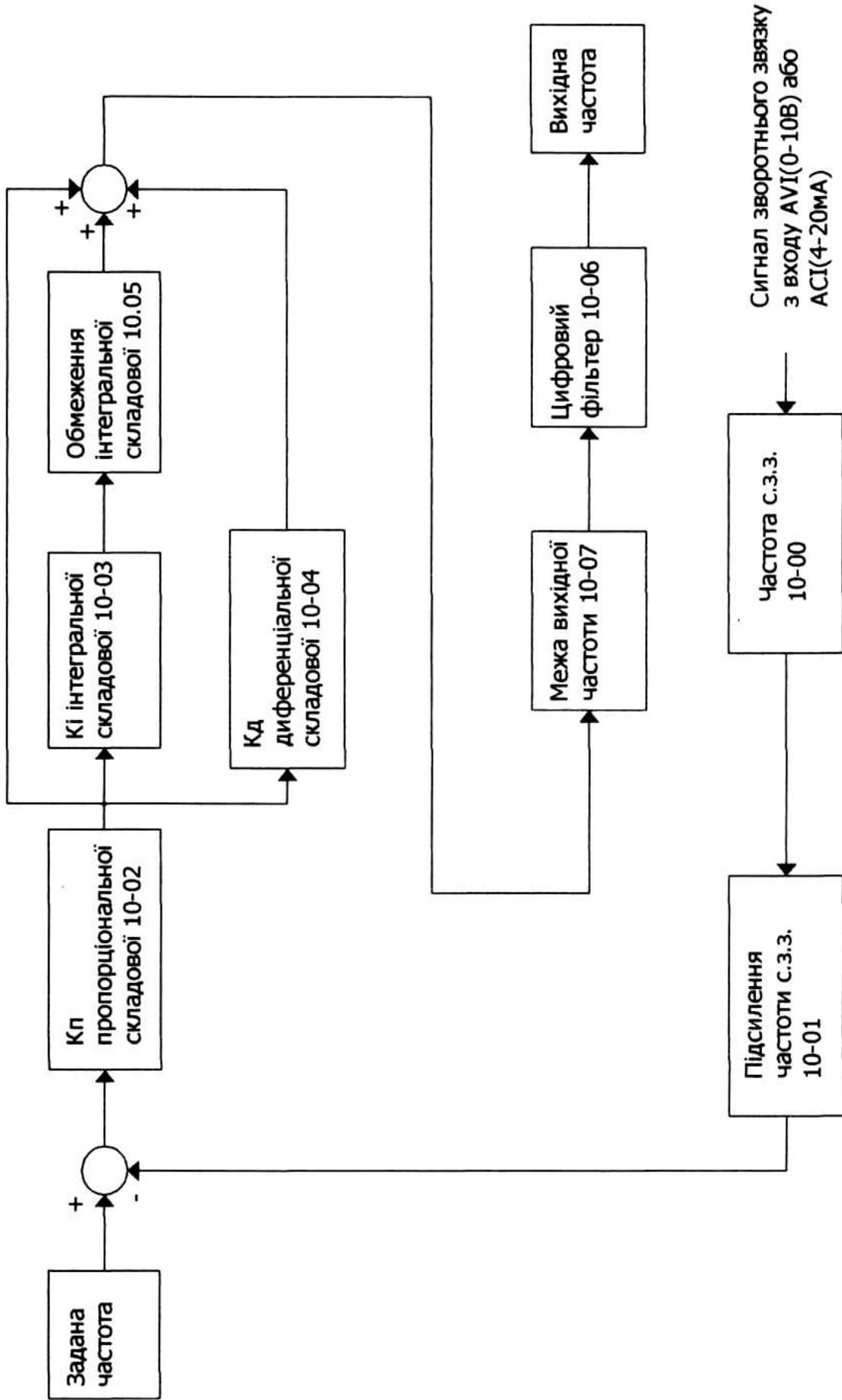


Рисунок 3.6 Блок схема ПДД – регулятора

Виразимо поточні значення напору й подачі насоса через швидкість на валу двигуна:

$$Q_* = \frac{Q_H}{\omega_H} \omega_* = k_1 \omega_* \quad (3.13)$$

$$H_* = \frac{H_H}{\omega_H^2} \omega_*^2 = k_2 \omega_*^2$$

де k_1, k_2 – постійні величини.

У САК з насосними установками регулювання здійснюється по напору.

Візьмемо корінь із рівняння:

$$\sqrt{H_*} = k_{насоса} \omega_* \quad (6.14)$$

де $k_{насоса} = \sqrt{\frac{H_H}{\omega_H^2}}$ – постійний коефіцієнт.

Модель насоса буде мати вигляд, показаний на рис. 3.7

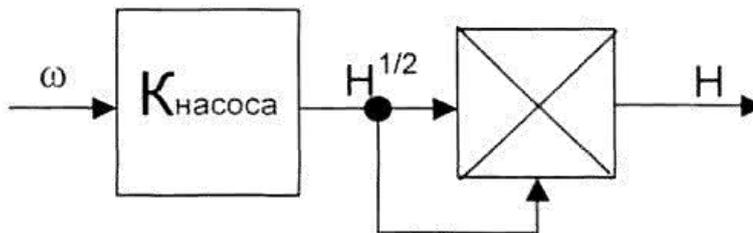


Рисунок 3.7 Модель насоса

Тоді структурна схема САК насосної установки буде мати вигляд, показаний на рис. 3.8

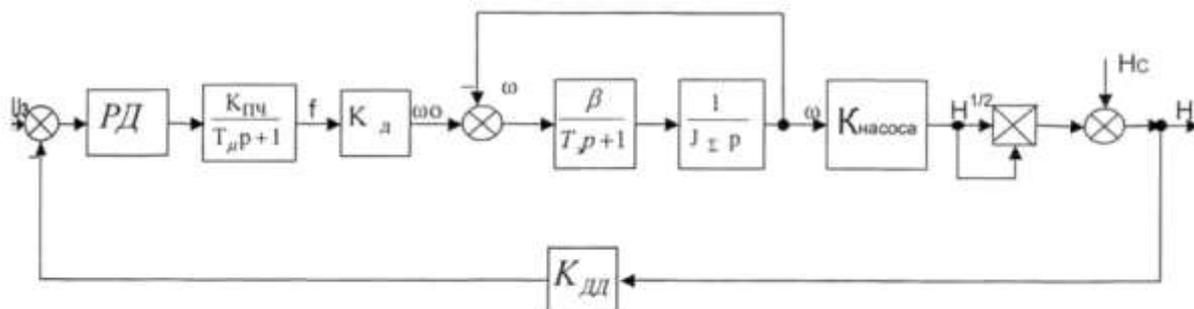


Рисунок 3.8 структурна схема САК насоса

де РД – регулятор тиску;

$K_{дл}$ – коефіцієнт передачі двигуна.

$$K_{\text{д}} = \frac{2\pi}{p} \quad (3.15)$$

$K_{\text{дд}}$ – коефіцієнт зворотного зв'язку по тиску.

$$K_{\text{дд}} = \frac{U_3}{H_H} \quad (3.16)$$

3.2 Розрахунок системи автоматичного керування

Розрахуємо параметри схеми заміщення електродвигуна:

$$X_1 = X_1' \frac{U_{1\phi\text{н}}}{I_{1\phi\text{н}}} = 0,048 \frac{220}{8,8} = 1,2 \text{ Ом}$$

$$X_2 = X_2'' \frac{U_{1\phi\text{н}}}{I_{1\phi\text{н}}} = 0,08 \frac{220}{8,8} = 2 \text{ Ом}$$

$$R_1 = R_1' \frac{U_{1\phi\text{н}}}{I_{1\phi\text{н}}} = 0,084 \frac{220}{8,8} = 2,1 \text{ Ом}$$

$$R_2 = R_2'' \frac{U_{1\phi\text{н}}}{I_{1\phi\text{н}}} = 0,05 \frac{220}{8,8} = 1,25 \text{ Ом}$$

$$X_0 = X_\mu \frac{U_{1\phi\text{н}}}{I_{1\phi\text{н}}} = 2,5 \frac{220}{8,8} = 62,5 \text{ Ом}$$

$$\text{де } I_{1\phi\text{н}} = \frac{D_i}{3U_{1\phi\text{н}} \cos\varphi\eta_y} = \frac{4000}{3 \cdot 220 \cdot 0,88 \cdot 0,87} = 7,9 \text{ А} \quad \text{– номінальний струм}$$

статора.

Визначимо індуктивності полів розсіювання $L_{1\sigma}$ і $L_{2\sigma}$ статора й ротора відповідно, а також індуктивність контуру намагнічування L_μ :

$$L_{1\sigma} = \frac{X_1}{\omega_{0,\text{эл.н}}} = \frac{1,2}{314} = 0,0038 \text{ Гн}$$

$$L_{2\sigma} = \frac{X_2'}{\omega_{0,\text{эл.н}}} = \frac{2}{314} = 0,0063 \text{ Гн}$$

$$L_\mu = \frac{X_\mu}{\omega_{0,\text{я.г.г}}} = \frac{62,5}{314} = 0,199 \text{ Гн}$$

де $\omega_{0,\text{эл.н}} = 2\pi f_{1\text{н}} = 314 \text{ рад/с}$ – номінальна кругова частота мережі.

Розрахуємо параметри перетворювача частоти.

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

де $K_{ПЧ} = f_{1H} / U_3 = 50 / 10 = 5$, коефіцієнт підсилення перетворювача частоти,

$f_{1H} = 50$ Гц – номінальна частота напруги мережі,

$U_3 = 10$ В – напруга завдання, приймається стандартним, рівним 10В,

$T_{\mu} = 0,01$ з, для реальних систем $T_{\mu} = 0,008 \div 0,01$ з, постійна часу ПЧ.

Розрахуємо параметри структурної схеми насосної установки.

$p = 1$ – число пар полюсів обмоток статора;

$$\omega_{OH} = \frac{2\pi f_{1H}}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{1} = 314 \text{ – номінальна швидкість холостого ходу;}$$

$$K_{Д} = \frac{2\pi}{p} = \frac{6,28}{1} = 6,28 \text{ – коефіцієнт передачі двигуна;}$$

$$T_{\mathcal{E}} = \frac{1}{\omega_{O..H^S KH}} = \frac{1}{314 \cdot 0,35} = 0,0091 \text{ – електромагнітна постійна часу двигуна;}$$

$\omega_H = \omega_{OH}(1 - s_H) = 314(1 - 0,05) = 297,5 \text{ рад/с – номінальна швидкість двигуна;}$

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H} = \frac{4000}{297,5} = 13,3 \text{ Н} \cdot \text{м – номінальний момент двигуна;}$$

$$\beta = \frac{M_H}{\omega_{OH} - \omega_H} = \frac{13,3}{314 - 297,5} = 0,82 \text{ – модуль статичної твердості;}$$

$$T_M = \frac{J_{\Sigma}}{\beta} = \frac{0,0083}{0,82} = 0,0101 \text{ – електромеханічна стала часу двигуна;}$$

$$k_{насоса} = \sqrt{\frac{H_H}{\omega_H^2}} = \sqrt{\frac{29}{297,5^2}} = 0,032 \text{ – коефіцієнт передачі насоса;}$$

$$K_{OC} = K_{ДД} = \frac{U_3}{H_H} = \frac{10}{29} = 0,34 \text{ – коефіцієнт зворотного зв'язку.}$$

$$W_{ДВ}(p) = \frac{\frac{\beta k_{\mathcal{O}}}{J_{\Sigma} p (T_{\mathcal{E}} p + 1)}}{1 + \frac{\beta}{J_{\Sigma} p (T_{\mathcal{E}} p + 1)}} = \frac{k_{\mathcal{O}}}{J_{\Sigma} T_{\mathcal{E}} p^2 + J_{\Sigma} p + \beta} = \frac{k_{\mathcal{O}}}{T_M T_{\mathcal{E}} p^2 + T_M p + 1} = \frac{6,28}{0,0083 p^2 + 0,0101 p + 1}$$

Передаточна функція об'єкта регулювання тиску дорівнює:

$$W_{OP}(p) = \frac{\hat{E}_{\alpha} \hat{E}_{\text{іапііа}}}{(\hat{\mathcal{O}}_i T_{\dot{Y}} p^2 + T_M p + 1)} = \frac{6,28 \cdot 0,032}{(0,00009 \delta^2 + 0,032 p + 1)} = \frac{0,02}{(0,00009 \delta^2 + 0,032 p + 1)}$$

Настроїмо контур тиску на модульний оптимум. Приведемо передаточну функцію об'єкта до виду:

$$W_{OP} = \frac{K_{OP}}{(T_{01}p + 1)(T_{02}p + 1)} \quad (3.17)$$

де $T_{01}=T_{02}=1/\alpha=0,0182$;

$$p_{1,2} = \frac{-T_M \pm \sqrt{T_M^2 - 4T_M T_Y}}{2T_M T_Y} = \frac{-0,032 \pm \sqrt{0,032^2 - 4 \cdot 0,032 \cdot 0,0091}}{2 \cdot 0,032 \cdot 0,0091} = \frac{-0,032 \pm j0,0177}{0,00058} = 54,94 \pm j68,7 = \alpha \pm j\beta$$

$$K_{OP} = K_{\bar{a}} K_{\hat{i}\hat{a}\hat{n}\hat{i}\hat{a}} = 0,0936.$$

Тоді передаточна функція об'єкта буде мати вигляд:

$$W_{OP} = \frac{0,0936}{(0,0182p + 1)(0,0182p + 1)}$$

Для даного об'єкта застосовуємо пропорційно – інтегрально – диференціальний (ПІД) регулятор з передаточною функцією:

$$W_p = \beta_p \frac{(T_{01}p + 1)(T_{02}p + 1)}{T_{01}p} \quad (3.18)$$

$$\text{де } \beta_p = T_{01} / 2K_{OC} \hat{E}_{\hat{i}\times} K_{\bar{A}} K_{\hat{i}\hat{a}\hat{n}\hat{i}\hat{a}} T_{\mu} = 0,0182 / 0,0047 = 3,87 \quad (3.19)$$

Підставимо (3.18) в (3.19) і одержимо:

$$W_p = \frac{(T_{01}p + 1)(T_{02}p + 1)}{2K_{OC} K_{\hat{i}\times} K_{\bar{A}} K_{\hat{i}\hat{a}\hat{n}\hat{i}\hat{a}} T_{\mu} p} \quad (3.20)$$

$$W_p = \frac{(0,0182p + 1)(0,0182p + 1)}{0,0047}$$

Перетворимо передаточну функцію регулятора до зручного виду:

$$W_{PC}(p) = 0,007p + 7,7 + 212/p$$

Формули зв'язку параметрів передаточної функції зі значеннями опорів та ємностей:

$$\beta_{pq} = R_{o.c} / (R_q' + R_q'')$$

$$T_{01} = C_{o.c} R_{o.c}$$

$$T_{02} = C_q R_q''$$

Тому що, $T_{01}=T_{02}$, тоді:

$$C_q R_q'' = C_{o.c} R_{o.c}$$

Задаємося значеннями ємностей:

$$C_q = 5 \text{ мкф}$$

$$C_{o.c} = 1 \text{ мкф}$$

тоді:

$$R_{o.c} = 0,0182 / 10^{-6} = 18200 \text{ Ом}$$

$$R_q'' = 0,0182 / (5 \cdot 10^{-6}) = 3640 \text{ Ом}$$

Знайдемо R_q' :

$$R_q' = R_{o.c} / \beta_{pq} - R_q'' = 18200 / 3,87 - 3640 = 1063 \text{ Ом}$$

Всі параметри системи керування визначені, що дозволяє перейти до математичного моделювання.

3.3 Опис роботи схеми керування

Постійний напір підтримується шляхом постійного регулювання швидкості оборотів одного з насосів. Інші насоси вмикаються/вимикаються від мережі по мірі необхідності. В першу чергу завжди вмикається насос, керований частотним перетворювачем.

Перемикання робочих насосів виконується контролером KL1 автоматично і залежить від навантаження і часу напрацювання. Усі насоси в експлуатації керуються ПЧ поперемінно.

Вимикач автоматичний QF подає живлення на елементи схеми, при цьому загоряється сигнальна лампа HL5 "мережа".

Магнітотермічні вимикачі QF1, QF2, QF3 подають живлення на насоси, мають встроєні термореле, що служить для захасту двигунів. Додаткові нормальнорозімкнені контакти магнітотермічних вимикачів підключаються послідовно в гілку до котушків контакторів KM2, KM4, KM6 відповідно. Контактори KM1-KM2, KM3-KM4, KM5-KM6 монтуються з механічним блокуванням контакторів а також послідовно в гілки до котушків відповідних контакторів підключаються нормально замкнені контакти, що унеможливорює їх вмикання одночасно.

Перетворювач частоти захищений вимикачем автоматичним QF4 (16A) та має фільтр L1 для знімання гармонік, що передаються від ПЧ в мережу.

За допомогою перемикачів SA1, SA2, SA3, SA4 вмикаються ручні, нейтральні та автоматичні режими роботи привода. Для живлення пристроїв схеми керування (24В) використовується понижаючий трансформатор Т1, а для захисту вимикач автоматичний QF5.

Для регулювання напору в автоматичному режимі використовується датчик Pa, а в ручному режимі роботи реле тиску P.S.1 та P.S.2.

Проміжне реле КА3 послідовно увімкнене з P.MIN (реле сухого ходу) для захисту роботи насосів без води. Від перегрівання обмоток електродвигунів у них вмонтовані термореле що підключені послідовно в схему керування відповідно до свого насосу. Реле КА4 вмикає лампочку HL4 (робота ПЧ). Реле КА1 з додатковими контактами контакторів вмикає лампочки HL2, HL3 (робота відповідних насосів). Нормально замкнені контакти магнітотермічних вимикачів QF1, QF2, QF3 вмикають лампочки HL6, HL7, HL8 (аварія відповідних насосів).

Завдання параметрів ПЧ

1-01	Номинальна частота (Гц)	50
1-02	Номинальна напруга (В)	380
2-00	Ведуча частота задається від зовнішнього терміналу АУ1 напругою 0-10В	D1
2-01	Керування від зовнішніх терміналів з блокуванням кнопки «stop»	D2
2-02	Зупинка двигуна з миттєвим обезструмленням	D1
2-04	Блокування реверсу	D1
6-07	Електротепловий захист (А)	8,8
7-00	Струм (А)	8,8
7-01	Потужність (Вт)	4000
7-04	Число полюсів	2
7-06	Частота (Гц)	50
7-07	Напруга (В)	380
7-08	Швидкість (об/хв.)	2850
8-04	Після появи напруги робота приводу поновлюється з мінімальної частоти	D2

4 Дослідження статичних і динамічних режимів роботи електромеханічної системи

Для моделювання системи керування насосної установки скористаємося додатком SIMULINK пакета прикладного програмного забезпечення MATLAB 3,6 [13].

Аналіз динаміки й статички буде робити в режимах:

- пуск на холостому ході до номінальної швидкості;
- робота при номінальних параметрах системи;
- різке зменшення споживання води (стрибок тиску), $H=2\text{м.}$;
- різке зменшення споживання води, $H=2\text{м.}$

Слід зазначити той факт, що при реальних умовах роботи, пуск насосної установки, зміна тиску в споживчій мережі, не відбувається стрибкоподібно, а досить плавно й довгостроково. Метою даного розділу є дослідження роботи установки в критичних режимах роботи, перевірка правильності вибору компонентів системи

Моделювання системи керування проводилося на наступному тимчасовому інтервалі:

при $t = 0$ с, був зроблений пуск двигуна на холостому ході;

при $t = 0,6$ с, зроблені імітація різкого зменшення споживання води (підвищення тиску);

при $t = 1,2$ с, повторне підвищення тиску;

при $t = 2$ с, кінець досліджень.

У результаті проведеного моделювання отримані криві зміни швидкості асинхронного двигуна і тиску (напору) води в споживчій мережі.

Визначимо деякі показники якості перехідних процесів:

- час перехідного процесу при пуску

$$t_{\text{пп. пуск}} = 0,25 \text{ с.};$$

- час перехідного процесу при підвищенні тиску

$$t_{\text{пп. пуск}} = 0,2 \text{ с.};$$

- час перехідного процесу при скиданні навантаження

$$t_{\text{пп. сбр. буд.}} = 0,2 \text{ с.}$$

Перерегулювання в контурі тиску:

$$\sigma = \frac{H_{\text{max}} - H_i}{H_i} \cdot 100\% \quad (4.1)$$

де $H_{\text{max}} = 35$ м. – максимальне значення напору при пуску двигуна.

Тоді

$$\sigma = \frac{35 - 29}{29} \cdot 100\% = 20\%$$

Статична помилка в контурі тиску:

$$\Delta H = H_H - H_{\text{оп}} \quad (4.2)$$

де $H_{\text{уст}} = 29$ м. – стале значення напору після скидання або підвищенні навантаження.

Тоді

$$\Delta H = 29 - 29 = 0$$

Перерегулювання при підвищенні або скиданні тиску:

$$\sigma_{\text{äëí}} = \frac{\dot{I}_{\text{äëí}}}{H_i} \cdot 100\% = \frac{6}{20} \cdot 100\% = 20\% \quad (4.3)$$

Всі отримані параметри перехідних процесів задовольняють технічні вимоги до ЕП.

4.1 Система стабілізації напору при зміні швидкості

Змінювати по заданому закону величину напору води можна на виході підвищувальної насосної станції, чи у віддаленій точці водогінної мережі. У першому випадку безперервна замкнута система регулювання напору води буде задовольняти вимогам заданого закону зміни напору, тоді як другий випадок має свої відмінні риси.

Стабілізувати напір у всіх точках складної розгалуженої мережі практично неможливо. Тому мова може йти про стабілізацію напорів у деяких окремих точках мережі, названих диктуючими.

У якості диктуючих вибирають точки, забезпечення нормального напору в яких гарантує підтримку таких же чи більш високих напорів в інших точках мережі. Як правило, у якості диктуючих вибирається точка, найбільш віддалена в гідравлічному відношенні, розташована на найбільш високих позначках [9].

Місце розташування диктуючих точок визначається гідравлічним розрахунком мережі або дослідним шляхом за результатами тривалих експлуатаційних спостережень. При істотному перерозподілі потоків води в мережі, викликаному локальними змінами водоспоживання різними групами споживачів, диктуюча точка може змінювати своє місце розташування. При роботі мережі разом з насосними станціями, близько висунутими до споживачів, наприклад станціями підкачування, диктуюча точка може розташовуватися на напірному колекторі станції.

Оскільки закон споживання води носить випадковий характер, то і момент встановлення рівня напору в диктуючій точці водопроводу після впливу від водонасосної станції не є постійною величиною. Тому, виходячи з вищевикладеного, доцільно використовувати квазо-безперервну систему регулювання напору води, при якій через визначені інтервали часу вимірюється величина напору в диктуючій точці і проводиться регулюючий вплив [9].

Основним параметром регулювання в системах, що стабілізують напір у мережі, є напір у диктуючій точці (точках). Стабілізація напору в цій точці забезпечує необхідний мінімум напору в мережі і знижує витрати електроенергії на подачу води.

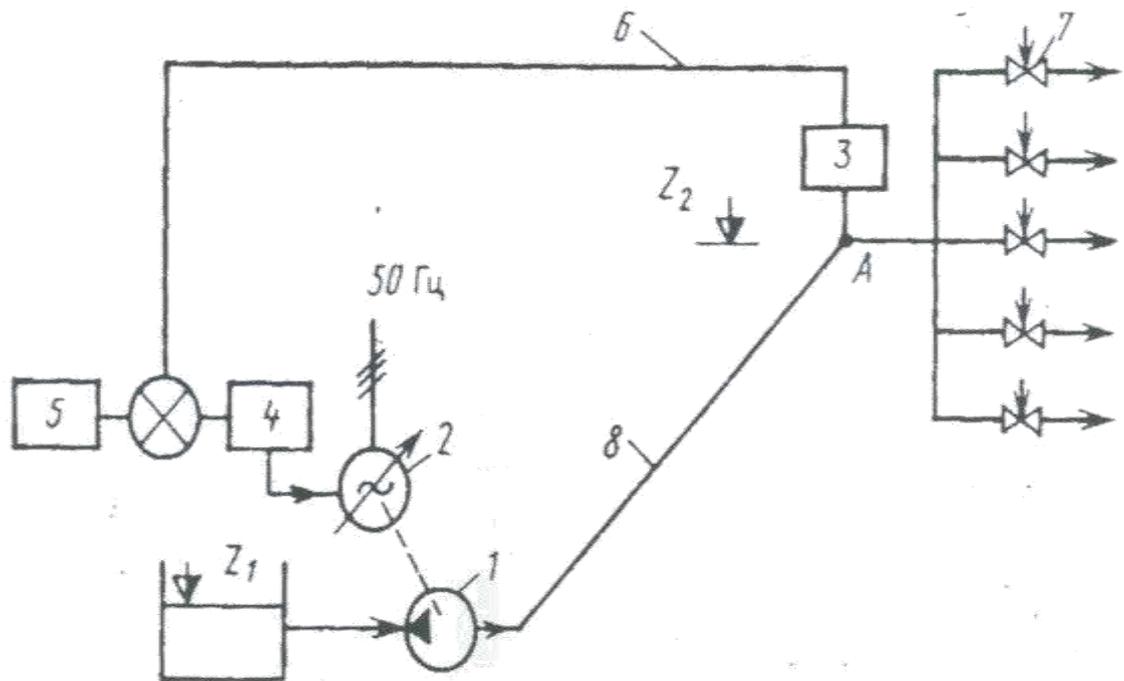


Рисунок 4.1 Принципова схема стабілізації напору у диктуючій точці A водогінної мережі

САК складається з насосного агрегату – 1, оснащеного регульованим електроприводом – 2, перетворювача тиску – 3, пропорційно-інтегрального регулятора (ПІД-регулятора)–4, задатчика значення регульованого параметра (напору) – 5 і каналів зв'язку між перетворювачем і регулятором – 6.

Сигнал від перетворювача тиску, встановленого в диктуючій точці мережі, і від задаючого пристрою надходять до ПІД-регулятора, де вони порівнюються і після відповідної обробки передаються в систему керування регульованого електропривода насосного агрегату.

Якщо напір у диктуючій точці виявляється вище заданого, до приводу надходить команда на зменшення частоти обертання електродвигуна насоса, і навпаки. При відповідності напору в диктуючій точці заданому значенню зміна частоти обертання насоса припиняється.

Процес регулювання йде в такий спосіб. У деякий момент часу t_1 насос працює з частотою обертання n_1 , подачею Q_1 , і напором H_1 (рис. 4.2) [9].

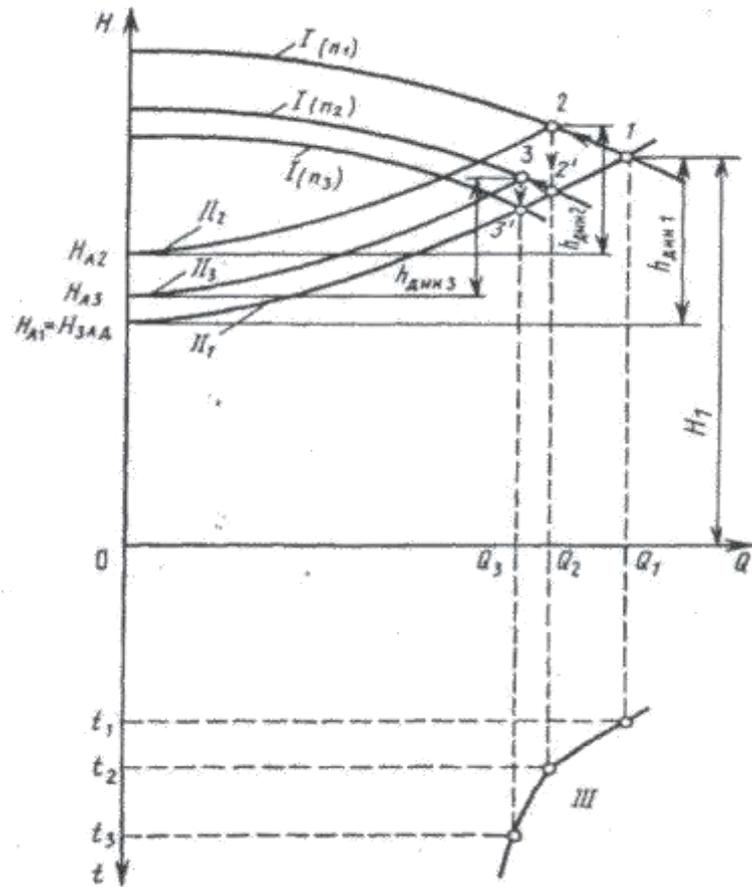


Рис 4.2 Процес стабілізації напору в диктуючій точці A
 $I(n_1)$, $I(n_2)$, $I(n_3)$ - характеристики регульованого насоса при n_1 , n_2 , n_3 ;
 II_1 , II_2 , II_3 – характеристика водоводу в різні моменти часу t_1 , t_2 , t_3 ;
 III – графік водоспоживання.

Цьому режиму відповідають втрати напору $h_{\text{дин}1}$. Тоді у диктуючій точці A дорівнює [5]:

$$H_{A1} = H_1 - h_{\text{дин}1} \quad (4.1)$$

Припустимо, що в наступний момент часу t_2 споживач, закриваючи один з водозабірних кранів, зменшує добір води із системи. Зменшеній подачі насоса Q_2 відповідає зрослий напір H_2 і знижені втрати напору $h_{\text{дин}2}$.

Внаслідок змін, що сталися, у режимі роботи системи напір у диктуючій точці A стає рівним:

$$H_{A2} = H_2 - h_{\text{дин}2} \quad (4.2)$$

Як видно з рис. 4.2, H_{A2} більше заданого значення напору $H_{\text{зад}} = H_{A1}$.

Сигнал перетворювача тиску, встановленого в точці A , порівнюється з сигналом задаючого пристрою. Перетворений сигнал неузгодженості надходить

у систему керування регулюючого приводу. У результаті частота обертання зменшується доти, поки напір у диктуючій точці не прийме знову заданого значення: $H_{зад} = H_{A1}$.

При зміні частоти обертання напірна характеристика займає положення, що відповідає частоті обертання n_2 , а на колекторі насосної станції установиться нове значення напору H_1 . Таким чином, робоча точка насоса на графіку послідовно займає положення 1 , потім 2 і $2'$ (рис. 4.2).

Якщо внаслідок закриття іншого водорозбірного крана відбудеться подальше зменшення водоспоживання до значення Q_3 , робоча точка насоса послідовно переміститься з точки $2'$ у точку 3 , а потім $3'$. У цьому випадку в результаті дії САК напірна характеристика насоса переміщається в положення, що відповідає частоті обертання n_3 .

Система керування звичайно будується так, щоб зміни частоти обертання відбувалися при малих відхиленнях значень напору в диктуючій точці від заданих значень. З цієї причини криволінійні трикутники 1 , 2 , $2'$ і $2'$, 3 , $3'$ (на рис. 4.2) мають невеликі розміри. Внаслідок цього робоча точка насоса практично плавно переміщається по характеристиці трубопроводу і, отже, система працює без перевищення напорів, тобто в економічному режимі.

На рис. 4.3 зображений перехідний процес зміни напору. Після пуску, характеристика притерпає перехідний процес довжиною 0,25с, амплітуда 35м, перерегулювання 20% і виходить на постійну величину 29м. Далі система піддається різкому зменшенню споживання води (0,6с) перерегулювання 10,3%, час перехідного процесу 0,2с, після якого напір стабілізується на 29м. Повторне зменшення споживання води (91,2с) породжує аналогічний перехідний процес довжиною 0,2с після якого напір виходить знову на 29м.

На рис. 4.4 зображено графік перехідних процесів зміни швидкості двигуна насосу. Після пуску, характеристика притерпає перехідний процес довжиною 0,25с і виходить на постійну величину 295рад/с. Далі система піддається різкому зменшенню споживання води (0,6с), при цьому відбувається перехідний процес 0,2с, після якого швидкість зменшується приблизно на 30рад/с. Повторне зменшення споживання води (1,2с), призводить до зменшення швидкості приблизно на 30рад/с.

Змінюючи завдання (при незмінних параметрах системи керування) зменшуємо швидкість до 270, 230, 170, 130рад/с (рис. 4.5 – 4.8). При цьому напір зменшиться до 23, 18, 12, 6 метрів відповідно (рис. 4.9 – 4.12). стабілізація напору, час перехідних процесів не зміниться.

На рис. 4.13 показано графік перехідного процесу напору при зміні швидкості. На перехідному процесі зміни напору рис. 4.14 при збільшенні навантаження, спостерігаємо тільки збільшення амплітуди перехідного процесу.

На рис. 4.15 показано графік перехідного процесу при зміні витрат (в 4,5 рази більші). На відрізьку (0,6 – 0,8с) швидкість знижується до 220рад/с. На перехідному процесі зміни напору рис. 5.16 при збільшенні навантаження, спостерігаємо збільшення амплітуди перехідного процесу до 38м, тривалість перехідного процесу не змінюється.

На рис. 4.17 показано графік перехідного процесу при зміні витрат (витрати більші в 6 раз). На відрізьку (0,6 – 0,8с) швидкість знижується до 185рад/с.

На перехідному процесі зміни напору рис. 4.18 при збільшенні навантаження, спостерігаємо тільки збільшення амплітуди перехідного процесу до 42м, тривалість перехідного процесу не змінюється.

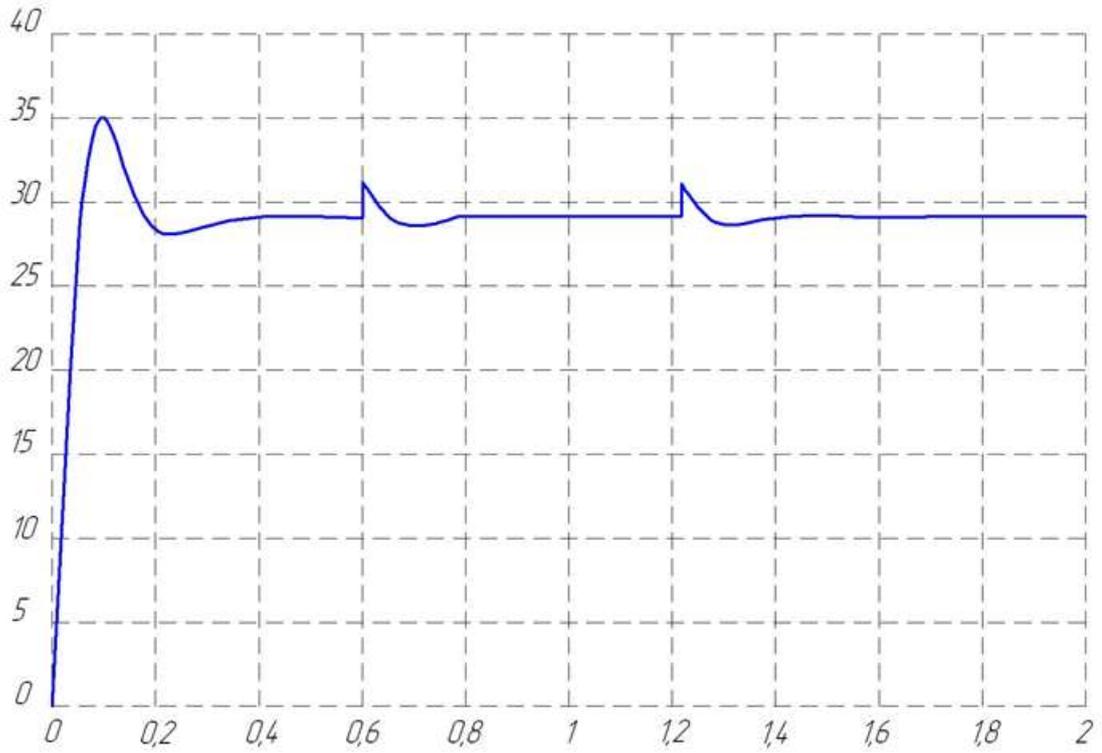


Рисунок 4.3 Графік перехідних процесів напору

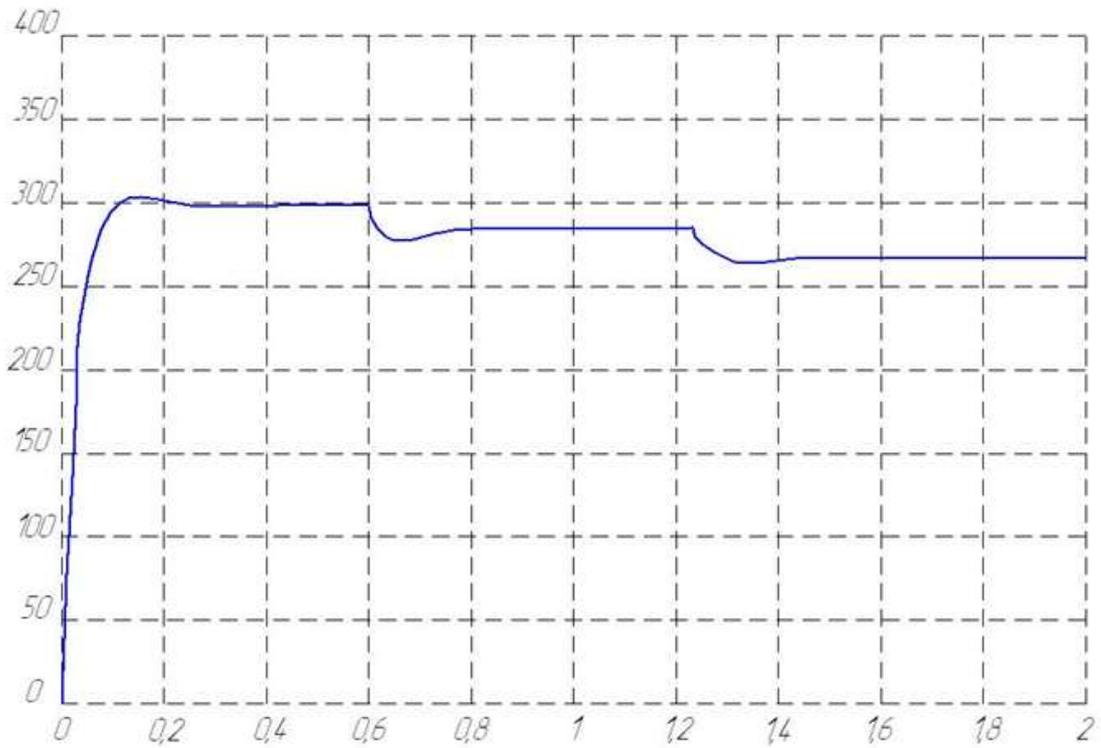


Рисунок 4.4 Графік перехідних процесів швидкості

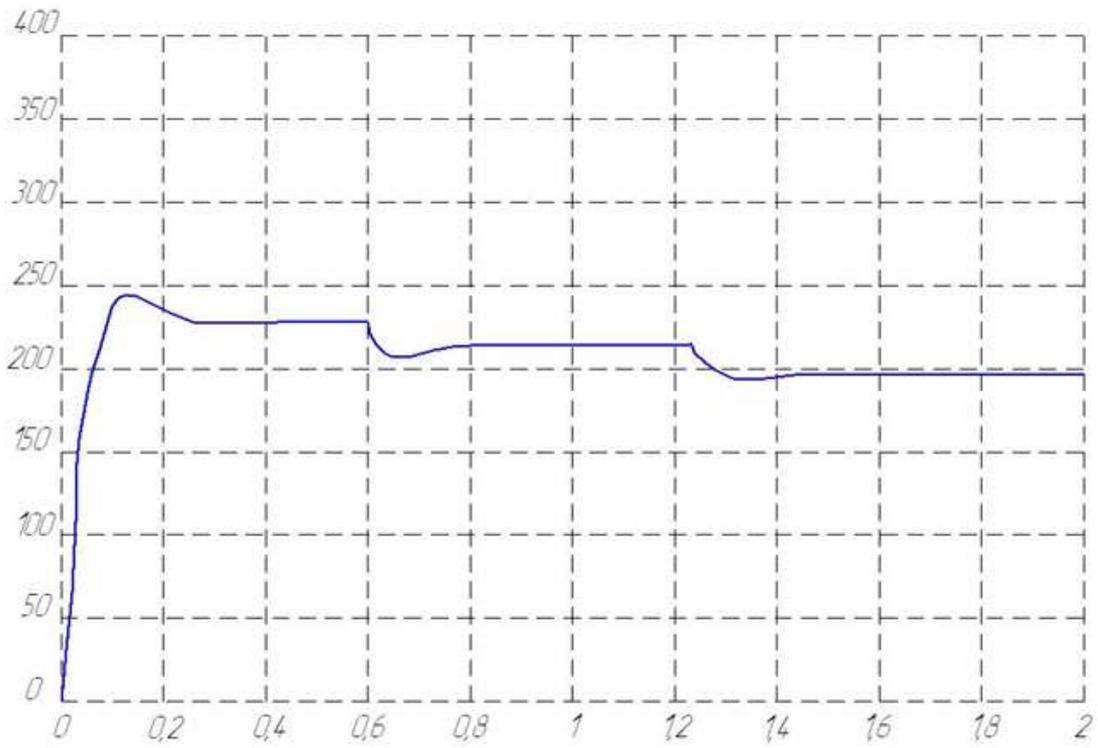


Рисунок 4.5 Графік перехідних процесів зміни швидкості

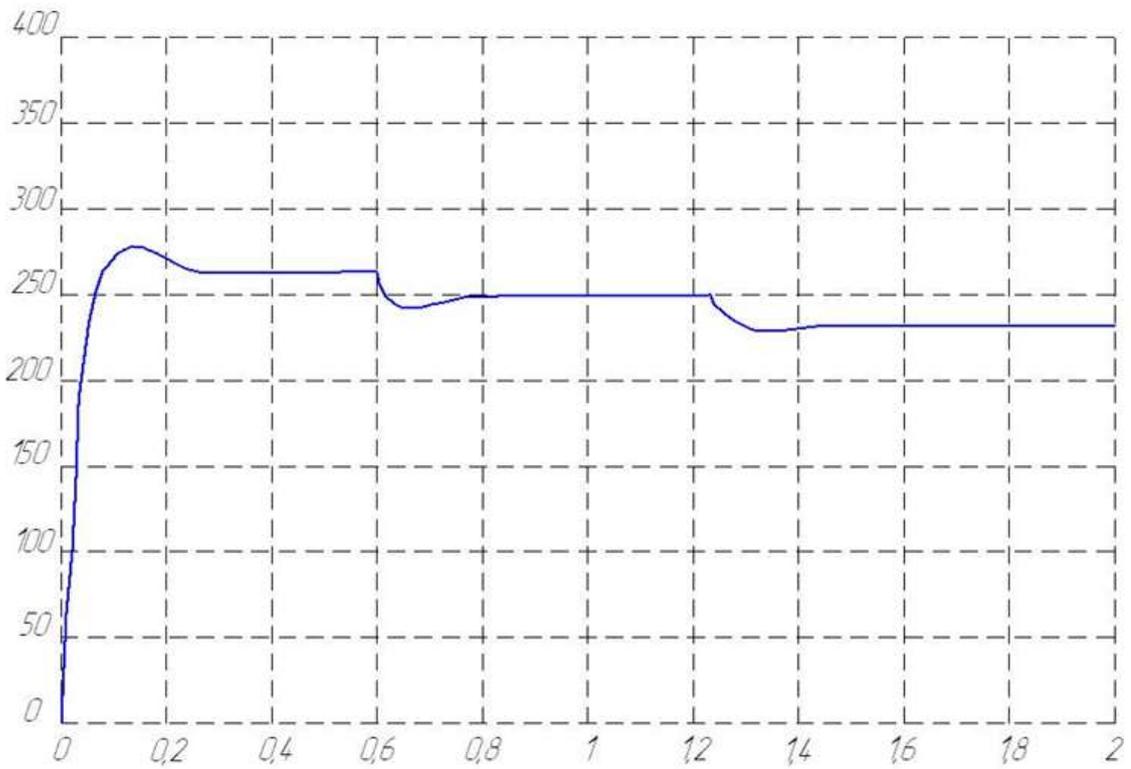


Рисунок 4.6 Графік перехідних процесів зміни швидкості

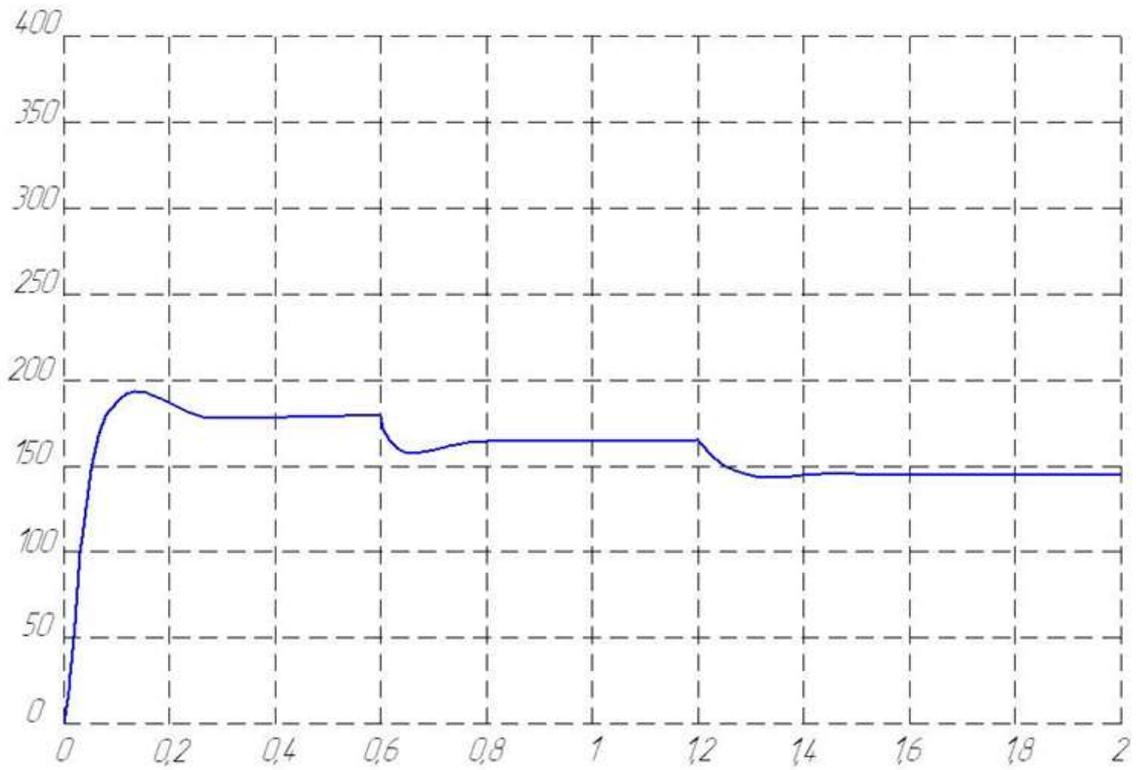


Рисунок 4.7 Графік перехідних процесів зміни швидкості

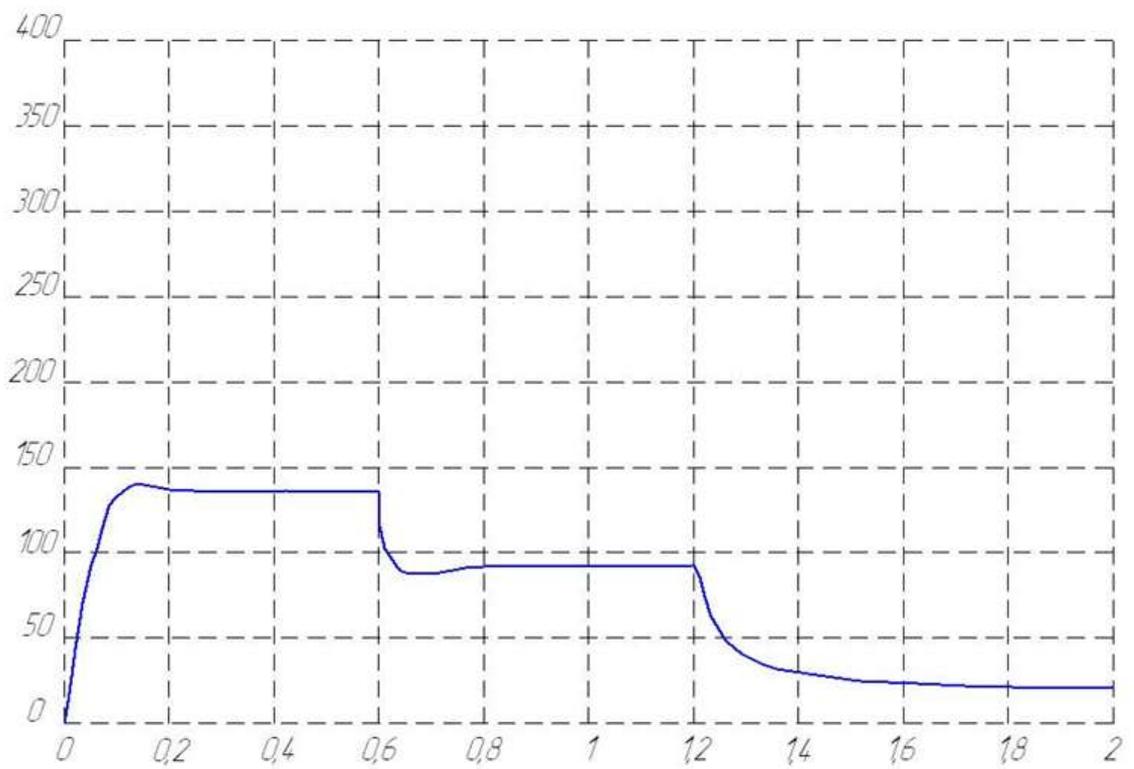


Рисунок 4.8 Графік перехідних процесів зміни швидкості

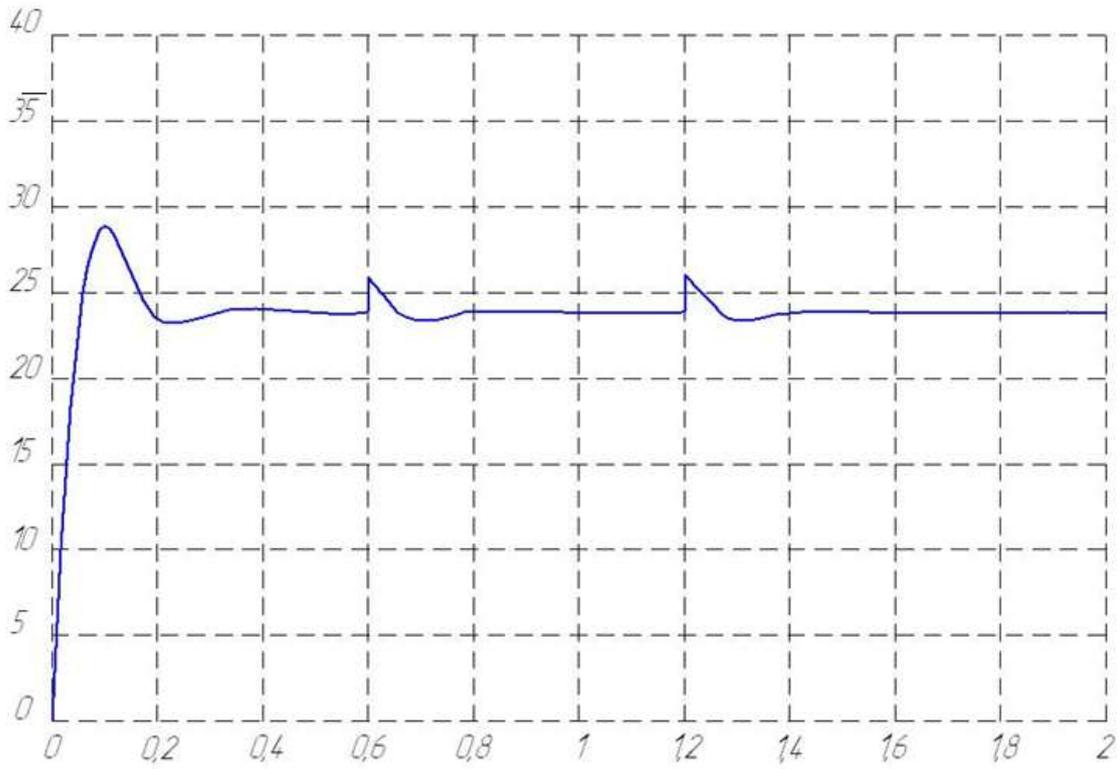


Рисунок 4.9 Графік перехідних процесів напору при зміні швидкості

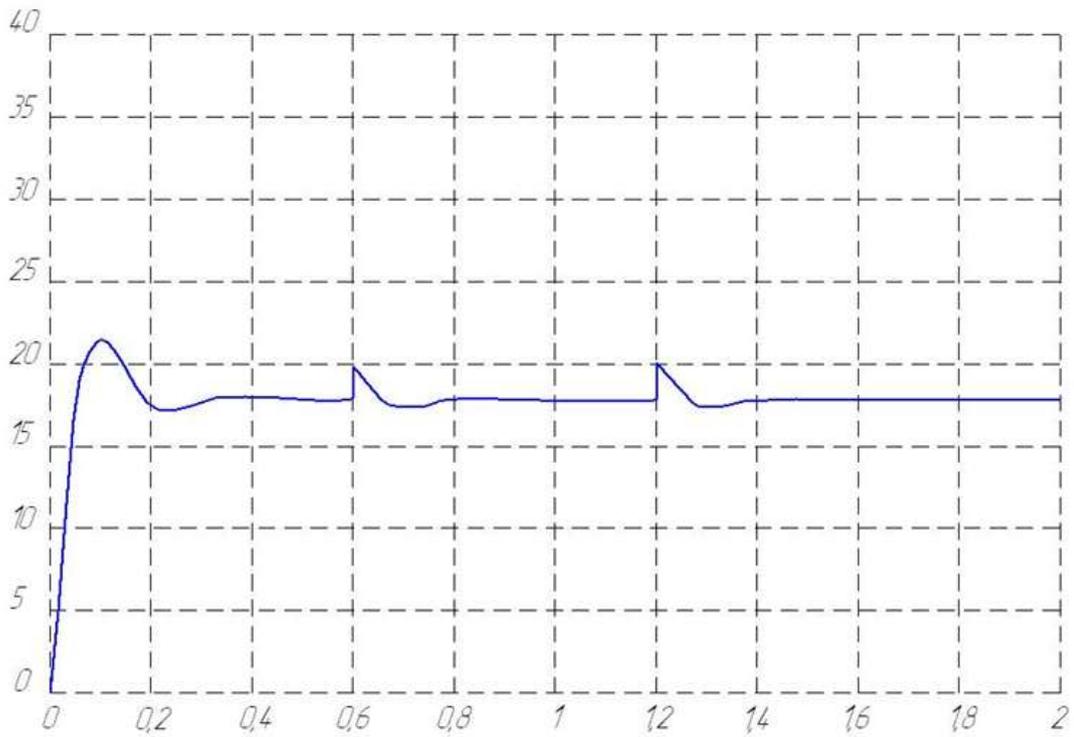


Рисунок 4.10 Графік перехідних процесів напору при зміні швидкості

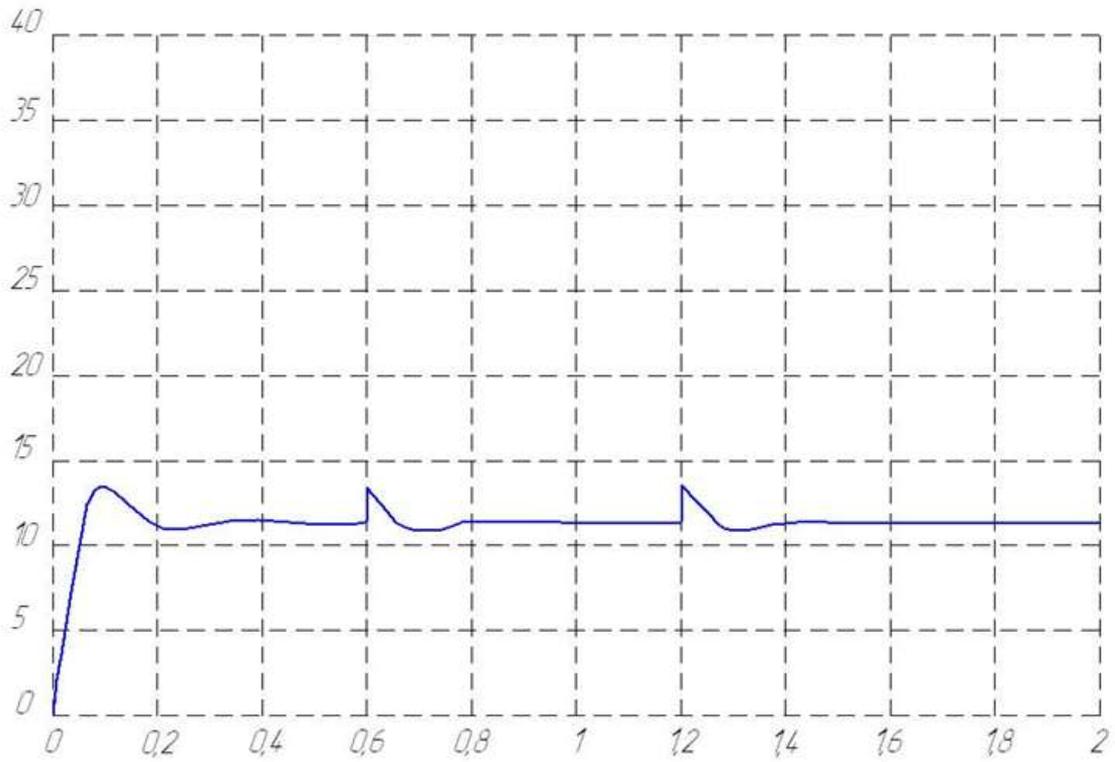


Рисунок 4.11 Графік перехідних процесів напору при зміні швидкості

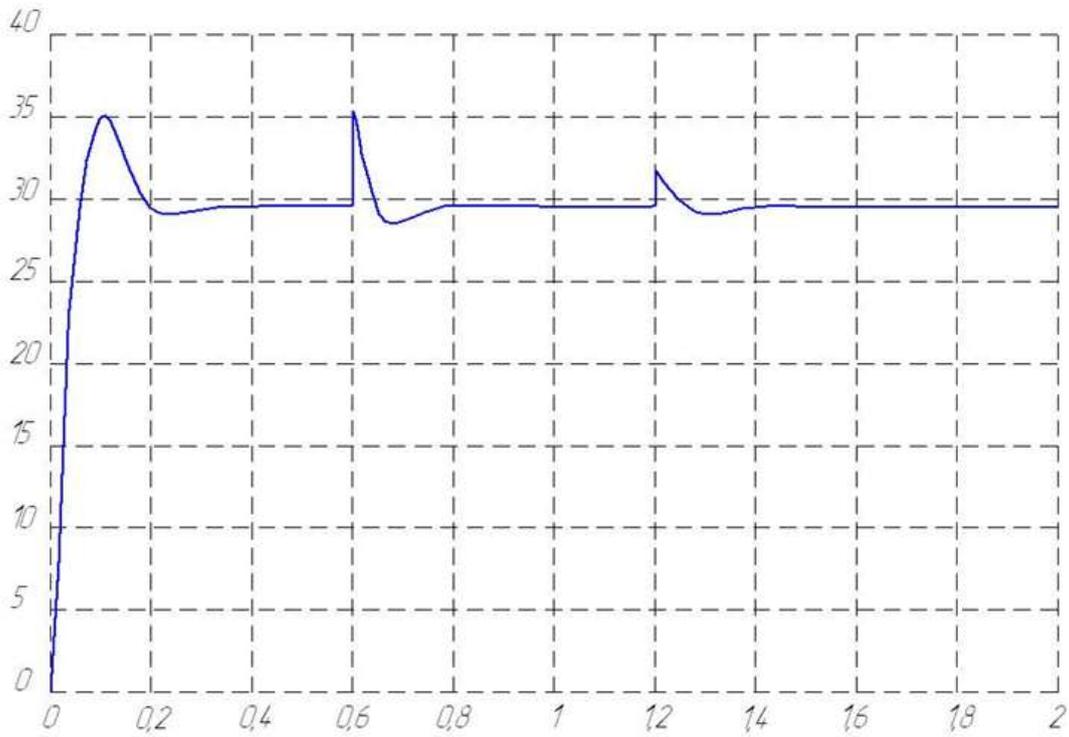


Рисунок 4.12 Графік перехідних процесів напору при зміні навантаження

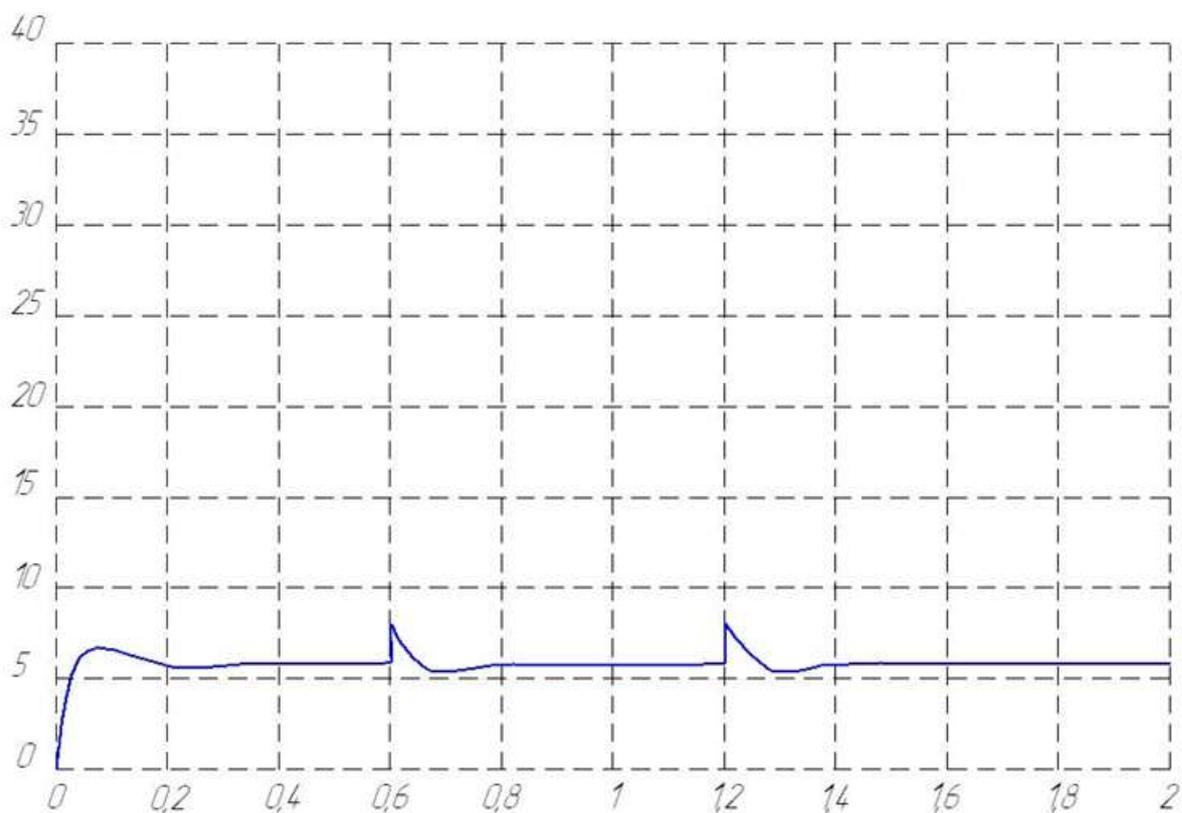


Рисунок 4.13 Графік перехідних процесів напору при зміні швидкості

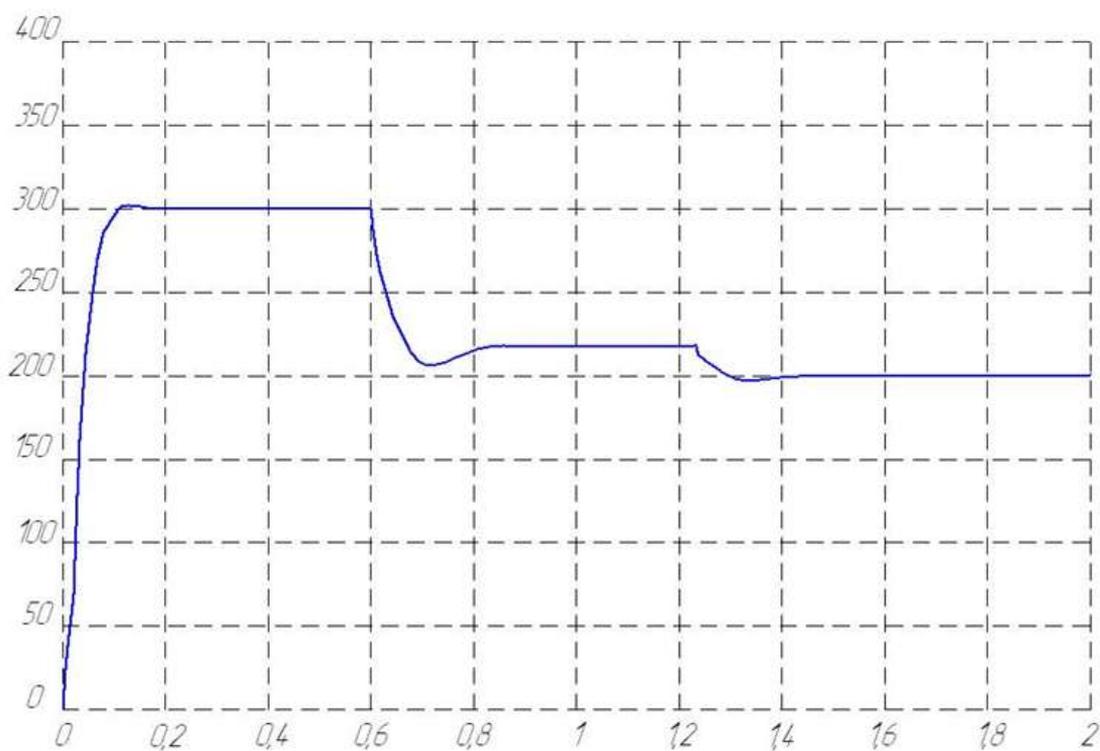


Рисунок 4.14 Графік перехідних процесів напору при зміні навантаження

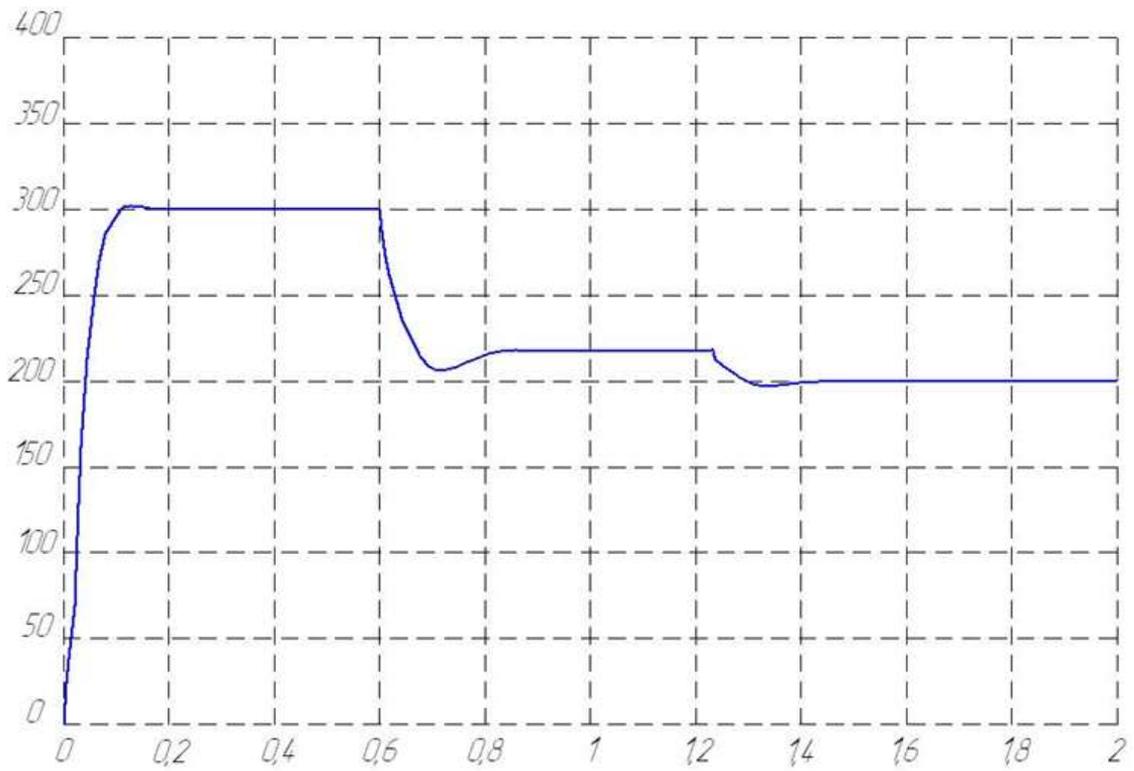


Рисунок 4.15 Графік перехідних процесів напору при зміні навантаження

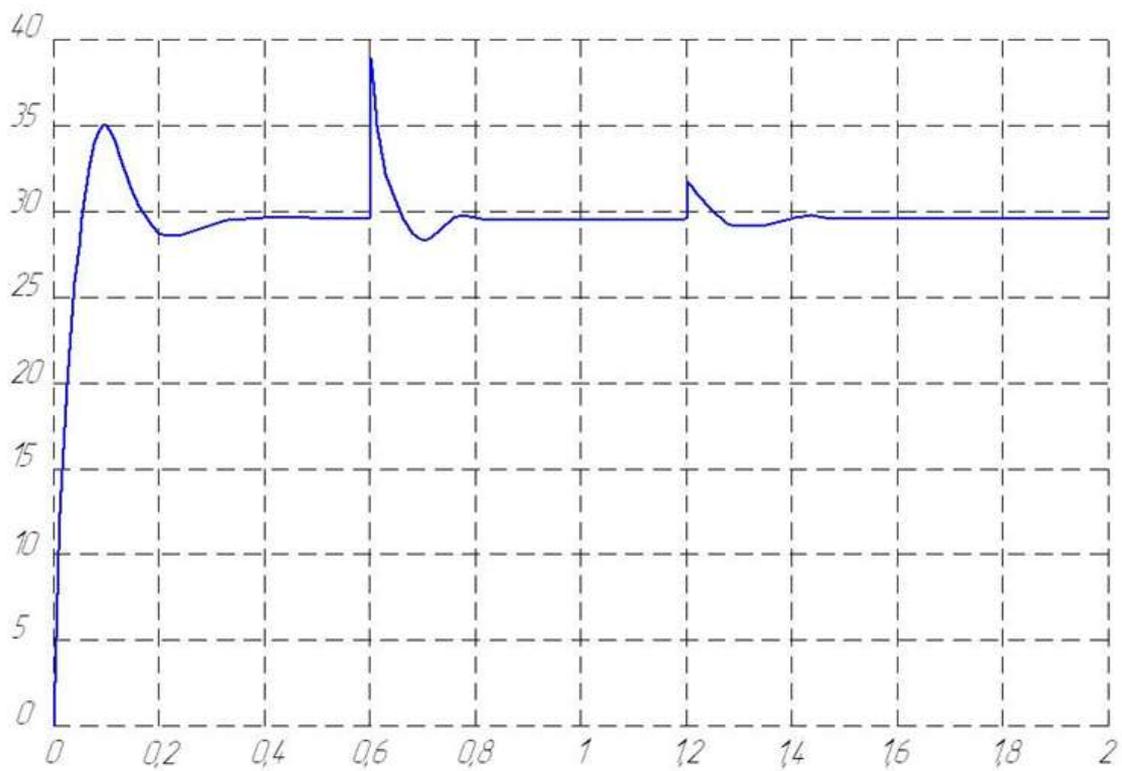


Рисунок 4.16 Графік перехідних процесів напору при зміні навантаження

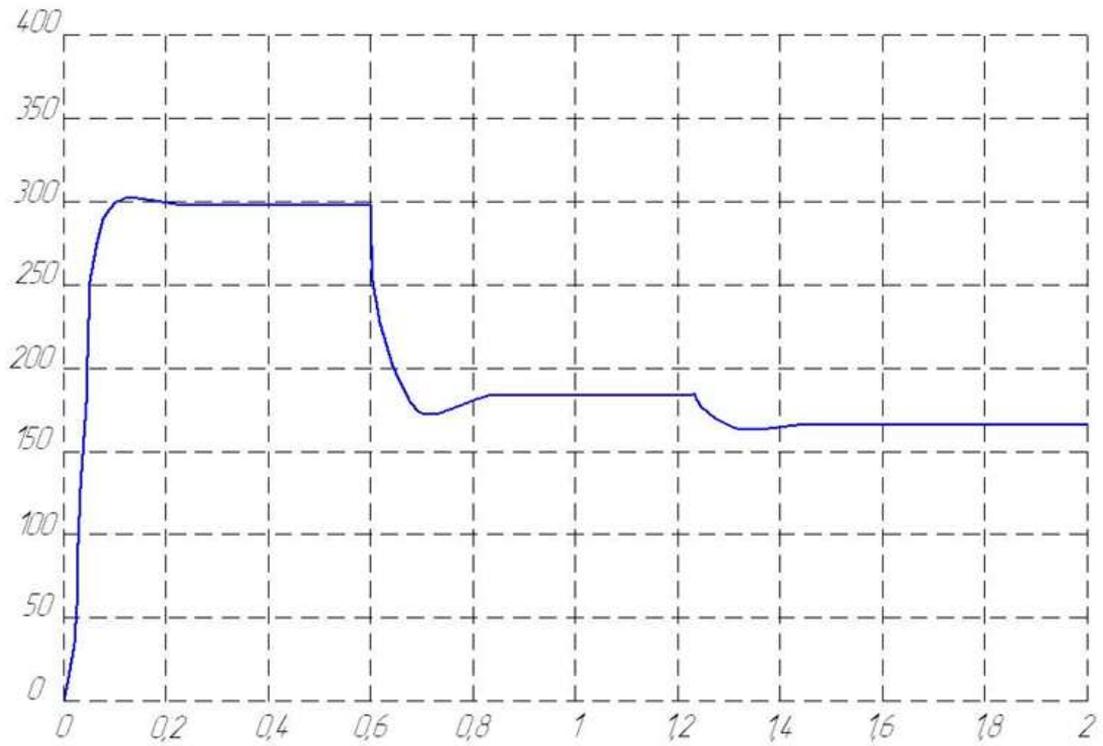


Рисунок 4.17 Графік перехідних процесів напору при зміні навантаження

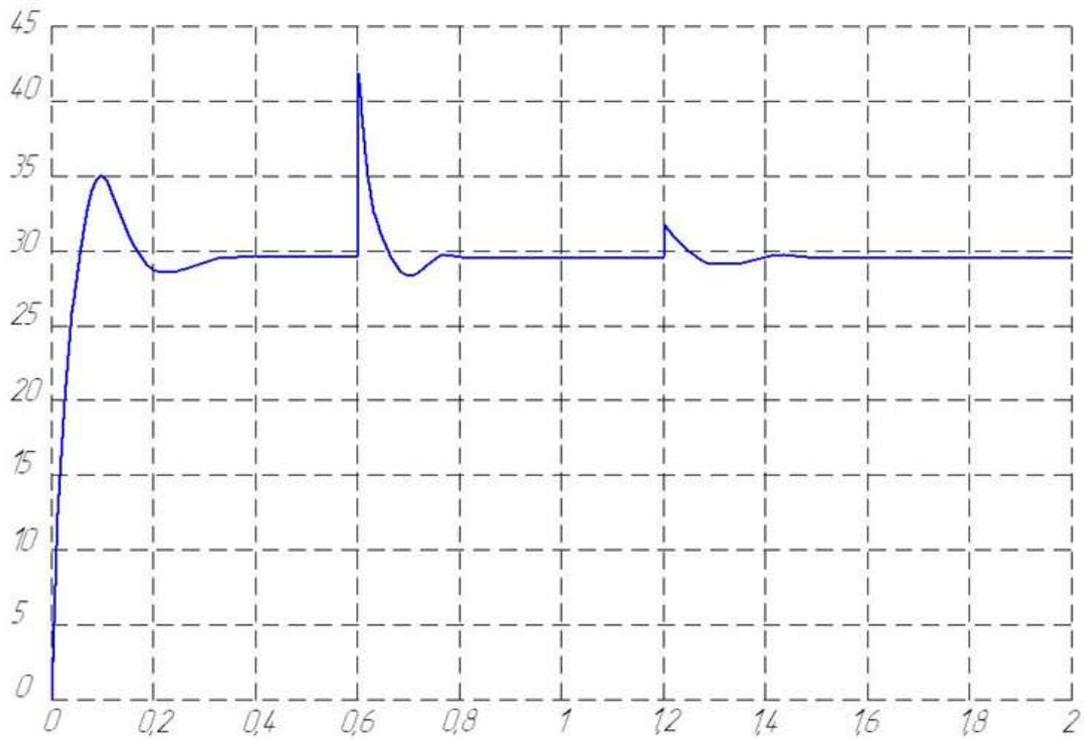


Рисунок 4.18 Графік перехідних процесів напору при зміні навантаження

ВИСНОВКИ

У даній роботі був спроектований електропривод насосної установки, що служить для підвищення тиску в мережі холодного водопостачання. У ході роботи були отримані наступні результати:

1. Проведено аналітичний огляд існуючих у світовій практиці рішень по даній проблематиці, на основі якого була обрана найбільш ефективна САК, а саме, система керування на базі транзисторного перетворювача частоти зі скалярною ШІМ – модуляцією.

2. Здійснено вибір елементів САК:

- відцентровий насос NBE 32-163 ($H_{ном} = 29м.$);
- асинхронний електродвигун АИР 100S2 ($P_{ном} = 4кВт$);
- транзисторний перетворювач частоти AMD – F;
- датчик тиску GV2 – M16.

Складові частини системи задовольняють вимогам дешевизни, надійності, малогабаритності, доступності елементів на ринку України.

3. Проведено математичне моделювання й аналіз динамічних і статичних характеристик САК, у ході якого отримані наступні результати:

- перерегулювання в контурі тиску при пуску ($=20\%$);
- статична помилка в контурі тиску $H=0$;
- перерегулювання при набросі або скиданні тиску $\delta_{дин}=20\%$.

Ці параметри задовольняють технічні вимоги до ЕП.

4. Розглянуто процес стабілізації напору при зміні швидкості, та зміні зовнішнього навантаження.

Можна зробити висновок, що спроектована насосна установка відповідає всім вимогам технічного завдання; може застосовуватися для водопостачання приміських будинків й інших об'єктів, де потрібне підвищення тиску у водогінній мережі; має гарні техніко – економічні показники; до складу системи входять реально існуючі й доступні елементи, що дозволяє їй серійно робити на території України

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Петрика А.Д., Подласова А.В., Евреенко Ю.П. Насосы и мелиоративные насосные станции; Под ред. Петрика А.Д.-Львов: Вища школа, 1987.- 168 с.
2. Шевелев Ф.А., Шевелев А.Ф. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб. -М.: Стройиздат, 1984.-117 с.
3. Мелиоративные системы и сооружения. Насосные станции. Нормы проектирования. ВСН 33.2.2.12-87.-1988.-93 с.
4. Руководство по проектированию внутрихозяйственной оросительной сети для дождевальных машин “Фрегат”, “Волжанка“.-М.,1973.-88 с.
5. Проектирование насосных станций и испытание насосных установок / В.В.Рычагов, В.Ф.Чебаевский, К.П. Вишневский и др. Под ред. В.Ф.Чебаевского.-М.: Колос, 1982.-320 с.
6. Мусиенко Б.А., Подласова А.В., Фильчагов Л.П. Водозаборы оросительных систем и охрана природы.- Киев: Будівельник, 1982.- 116 с.
7. Каталог насосов применяемых в мелиорации. – М.: Росторгтехводстрой, 1986.- 229 с.
8. Справочник по гидравлическим расчетам / Киселев П.Г., Альтшуль А.Д., Данильченко Н.В. и др. Под ред. П.Г. Киселева.- М.: Энергия, 1972.- 312 с.
9. Курганов А.М., Федоров Н.В. Справочник по гидравлическим расчетам систем водоснабжения и канализации.- Л.: Стройиздат, 1978 – 424 с.
10. Шаповалов Б.Т. Электрооборудование насосных станций.- М.: Агропромиздат, 1986.- 223 с.
11. Насосы и насосные станции / В.Ф. Чебаевский, К.П. Вишневский, Н.Н. Накладнов, В.В. Кондратьев; Под ред. В.Ф. Чебаевского.- Агропромиздат, 1989.- 416 с.

12. Оборудование водопроводно-канализационных сооружений / А.С. Москвитин, Б.А. Москвитин, Г.М. Мирончик, Р.Г. Шапиро; Под ред. А.С. Москвитина.- М.: Стройиздат, 1979.- 430 с.
13. Герман-Галкин С.Г. „Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0” : Учебное пособие. СПб.: КОРОНА принт, 2001.- 320 с.
14. И.В.Черных SimPowerSystems Моделирование электротехнических устройств и систем в Simulink.
15. Ключев В.И. «Теория электропривода» Энергоатомиздат 2001.-704 с.
16. Справочник по проектированию автоматизированного электропривода и систем управления технологическими процессами. /Под редакцией Круповича В.И. и др. М.: Энергоиздат, 1982г. – 416с.
17. Алиев И.И. Справочник по электротехнике и электрооборудованию. Учебное пособие для вузов. Высшая школа 2002 г – 255 с.
18. Станція водопостачання Hudro 2004. – 93с.

ДОДАТКИ

1 TECHNOLOGICAL PART

1.1 General information about pumping units

First of all, it is necessary to get acquainted as closely as possible with the types of pumping units that are widely used today, as well as to give a number of definitions.

A hydraulic machine that creates a pressure movement of fluid during the transfer of energy to it is called a pump.

The pump in combination with the electric drive and the transfer mechanism (the coupling, a reducer, a pulley, etc.) forms the pump unit.

The complex of equipment that ensures the operation of pumps in the required mode and consists of one or more pumping units, pipelines, shut-off and control valves of control and measuring equipment, as well as control and protection equipment, creates a pumping unit [1].

A structure that includes one or more pumping units, as well as ancillary systems and equipment, domestic and industrial premises that ensure the efficiency of the facility as a whole, is called a pumping station.

The main parameters that characterize the mode of operation of the pumping unit are the pressure and flow.

Pressure is a difference of specific energies of liquid in a pressure head and suction branch pipes of the pump, necessary for raising of liquid on the set height and overcoming of friction forces in the pipeline.

Supply - the amount of liquid pumped by the pump unit per unit time.

The mode of operation of the pumping unit is a certain order of operation of its equipment in accordance with changing operating conditions.

Pumping stations are equipped with one or more pumping units (up to 12 units). If several units are a part of the pump installation, pressure and suction lines of pumps are connected among themselves by pressure and suction collectors accordingly. To pressure reservoirs joining pressure conduits, and the suction collector - suction conduits. If there are receiving suction tanks at the pumping

station, the collectors may not be provided, and the suction lines of the pumps are connected directly to the tank [2].

Depending on the purpose and type of liquid pumped, pumping units are divided into: water, sewage, reclamation, district heating, oil refining and others.

Pumping water stations, depending on the place occupied in the general scheme of water supply, are divided into I and II lifting and raising. Pumping station I lifting takes water from the water supply source (river, lake, reservoir, etc.) and supplies it to treatment plants. Pumping station II lifting supplies water from clean water tanks to the distribution network. In cases where the developing pressure is insufficient to raise the water to the required height, booster pumping stations (pumping stations) are built . The pumping units of these stations increase the pressure in the network by taking water from one section of the water supply or network and supplying it to another water supply or section of the network. At the same time water intake can be carried out both through the intermediate tanks performing functions of regulating capacities, and without them. In the latter case, the installations operate on a pipe-to-pipe basis. Depending on the purpose, water pumping stations (VNS) are divided into technical and drinking water stations. The construction of these stations is usually the same, their modes of operation differ from each other [2].

Sewage pumping stations (KNS) are designed to pump wastewater to the treatment site. Depending on the place in the general scheme of the sewerage KNS are divided into local, regional and main (central). In addition, KNS are divided by the type of pumped effluent (domestic, industrial, etc.). KNS are equipped with both pumps for wastewater and other pumps designed for pumping contaminated water [3].

Reclamation pumping stations are divided into irrigation stations and drainage systems. Irrigation pumping stations, in turn, are divided into main, intermediate pumping and sprinkler. The structure of the main stations is similar to the water stations and the rise. Intermediate pumping stations are similar in structure to water booster stations [2-3].

Sprinkler pumping stations are designed to be fed to sprinklers through open channels or through a closed irrigation network. In the latter case, the pumping station is equipped with booster pumps in addition to the main pumping units to maintain the pressure in the closed network during the period when the main pumps are not working. In addition, these stations are usually installed water tanks, which automate the operation of the main and booster pumps when turning on and off sprinklers. Drainage pumping stations pump surface water or reduce groundwater levels. At these stages, usually build a tank to receive sewage. In structure and mode of operation, these stations resemble KNS [3].

District heating pumping stations are designed to supply hot water to heating systems and hot water supply of residential buildings, as well as technological consumers. Sources of hot water are central boilers and thermal power plants, which are usually installed mains pumps. By means of network pumps water is passed through water heaters where it is heated by steam from district heating selections of turbines and further through a district heating network arrives to the consumer.

Pumping installations of thermal power plants (TPPs) perform various functions in the technological process of generating electric and thermal energy. Feed pumps supply water to the boiler unit. Condensate - pump the steam spent in the turbine, which turned into water, in the deaerator. Circulation pumps provide constant circulation of cooled water through the condenser and cooling devices.

Widespread pumping units designed to transport petroleum products. They are also used in construction: for water reduction, pumping of contaminated water from ditches, supply of various liquid and semi-liquid components (solutions, concrete, etc.). Pumping installations are also used in the mining industry for transportation of various kinds of pulps (dredgers, dredgers, etc.) [4-5].

1.2 Equipment of pumping units

The main equipment of pumping units includes: pumps, pump drives (electric motors, internal combustion engine), as well as pipelines with control and shut-off valves.

Centrifugal and axial pumps are the most widespread on modern pumping units.

Centrifugal pumps. In the middle of the fixed housing *1* (Fig. 1.1), having a spiral shape, there is an impeller *2* mounted on the shaft *3*. The wheel *2* consists of two disks, between which are the blades *4*. The pump housing is connected to the suction and discharge pipes *5,6*. [4].

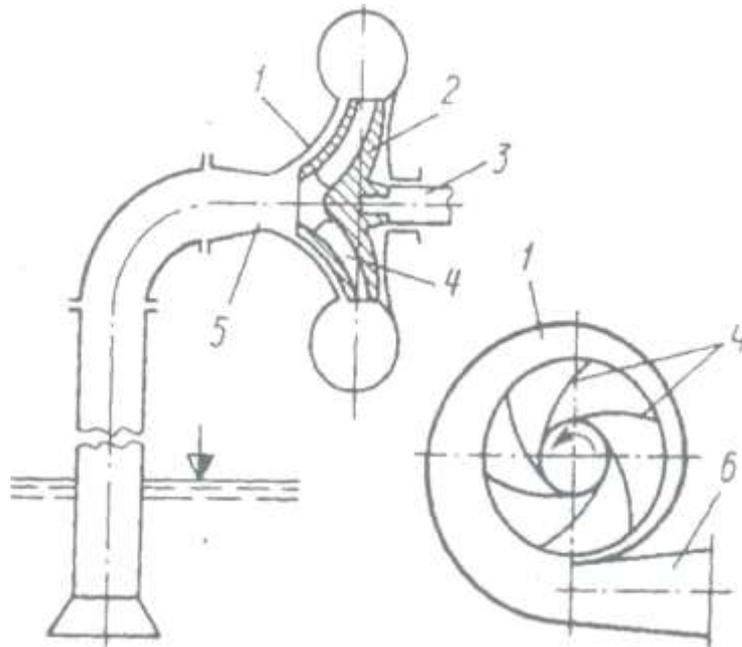


Figure 1.1 Scheme of a centrifugal pump

If the pump housing and its suction line are filled with liquid and then the impeller is rotated, the fluid rotates under the action of the impeller blades. Centrifugal forces move the fluid and the periphery, where increased pressure is created, and in the center of the wheel - vacuum. Due to this pressure difference, the liquid enters the pressure pipe. This is a continuous supply of liquid by the pump.

Centrifugal pumps can be both single-stage (with one impeller) and multistage (with several wheels). Structurally, depending on the location of the shaft, they are divided into horizontal and vertical pumps.

Axial pumps. Axial pumps are made of two types: with rigidly fixed impeller blades (type O) and with rotary blades (type OP). In fig. 1.2 shows an axial pump type OP [4].

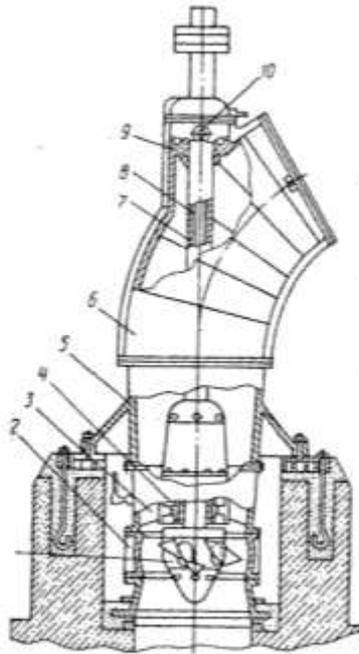


Figure 1.2 - Axial pump type OP

1 - impeller with rotating blades; 2 - spherical chamber; 3 - rectifier; 4 - the lower support of the shaft; 5 - the diffuser with paws for fastening to the base of plates; 6 - pump housing; 7 - empty shaft; 8 - a rod of the drive of the mechanism of turn of shovels; 9 - upper guide bearing; 10 - the mechanism of turn of shovels with the manual drive

Pumps of both types can be issued in two executions: with horizontal and with vertical arrangement of a shaft.

The impeller rotates in a spherical chamber. When the impeller blades are exposed to the liquid, due to the change in flow, the pressure above the blade increases and decreases below it. Due to the pressure difference, the liquid will move along the axis of the pump.

The impeller of axial pumps of the OP type consists of a sleeve of a streamlined form on which rotary shovels are fixed (fig. 1.2 see). Possibility of change of an angle of installation of shovels, allows to regulate giving and a pressure of the pump in wide limits at preservation of high values of efficiency.

Pump drive (we will discuss in more detail below). Asynchronous short-circuited and synchronous AC motors are mainly used to drive the pumps. In rare cases, induction motors with a phase rotor are used. Electric motors up to 50 kW are made at a voltage of 380 - 660 V, and above - at 6 - 10 kV. In some cases, especially in mobile pumping units, internal combustion engines are used to drive the pumps.

Pipelines. Pipe fittings. Internal pipelines of pumping stations (pressure and suction lines of pumps, pressure and suction manifolds, etc.) are made of steel pipes. Connection of steel pipes is carried out by welding. As pipeline fittings in pump installations latches, gates, return gates.

Large diameter valves, as well as those with remote and automatic control, are equipped with hydraulic or electric drives. To balance the pressure on both sides of the disk in large valves provides a bypass valve (bypass).

Shutters are used as shut-off and control valves. Disc valves equipped with electric drives have recently become widespread. Return valves are designed to prevent the discharge of pressure pipes and the reverse rotation of the pump after it is stopped.

During the operation of the pump under the action of water flow, the disk rotates on the axis, and water passes through the valve. After stopping the pump, the disk under the action of its own weight and water pressure from the pressure water supply is lowered and the valve closes [4-5].

1.3 Operating modes of pumping units

The modes of operation of pumping units significantly depend on the change of modes of water consumption or inflow of wastewater. This is evident in the operation of water supply and drainage systems.

As a rule, the regimes of water consumption and inflow of sewage are determined by many reasons that do not depend on each other: climatic and weather conditions, the mode of operation of enterprises and organizations of the city, and others. The mode of water consumption is usually characterized by daily, weekly, etc. water consumption schedules. In fig. 1.3. the approximate daily schedule of water consumption of a small settlement is presented [4-5].

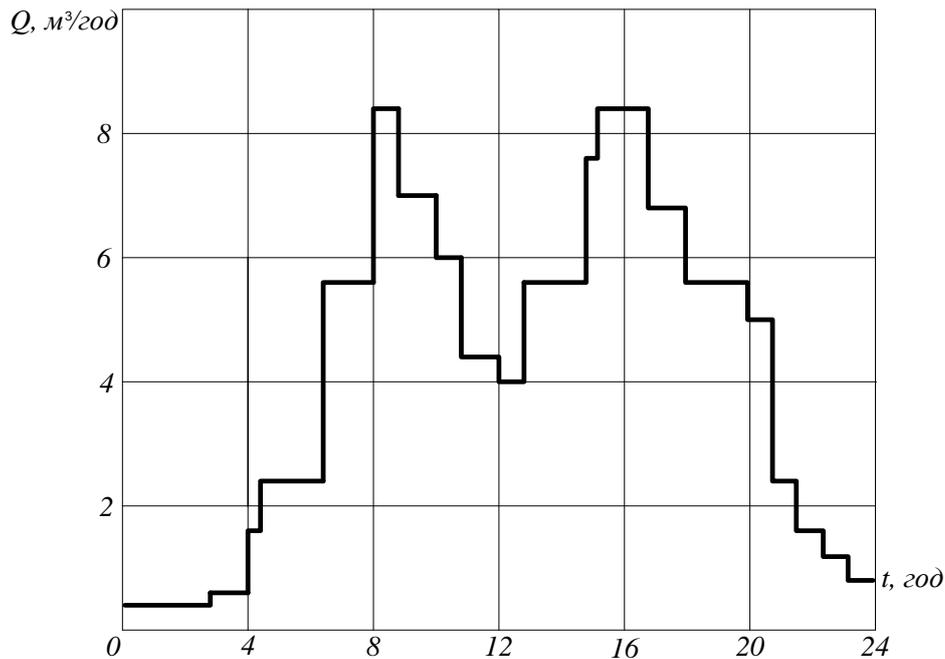


Figure 1.3 - Daily schedule of water consumption of the settlement

Such graphs of water consumption are characterized, as a rule, by coefficients of non-uniformity [5].

Maximum inequality coefficient:

$$K_{max} = Q_{max} / Q_{cf} \quad (1.1)$$

where Q_{max} - maximum water consumption;

Q_{Wed} - the average value of water consumption.

Minimum coefficient of non-uniformity:

$$K_{min} = Q_{min} / Q_{Wed} \quad (1.2)$$

where Q_{min} - minimum water consumption.

The range of fluctuations in water consumption is characterized by the ratio:

$$\lambda = Q_{min} / Q_{max} \quad (1.3)$$

which can also be expressed by the coefficient of maximum and minimum non-uniformity:

$$\lambda = K_{min} / K_{max} \quad (1.4)$$

The mode of operation of pumping units of industrial enterprises is determined mainly by the technological process of the enterprise. There are modes of water consumption and pumping, similar to the modes of operation of municipal water and sewage pumping stations. Pumping units of industrial enterprises can be with a pronounced night and day mode of water consumption (Fig. 1.4.) [5].

The mode of operation of district heating pumping systems, circulating water supply systems significantly depends on the outside air temperature, and hence on the season, climate and supply. The operation of pumping units that feed directly into the network without intermediate tanks at any time is equal to water consumption (in the absence of leaks and unproductive costs). In fact, in any system in addition there are leaks and unproductive costs, the value of which reaches in many cases 15-20% of the total supply. Therefore, the supply of the pumping unit must be greater than the water consumption at this value.

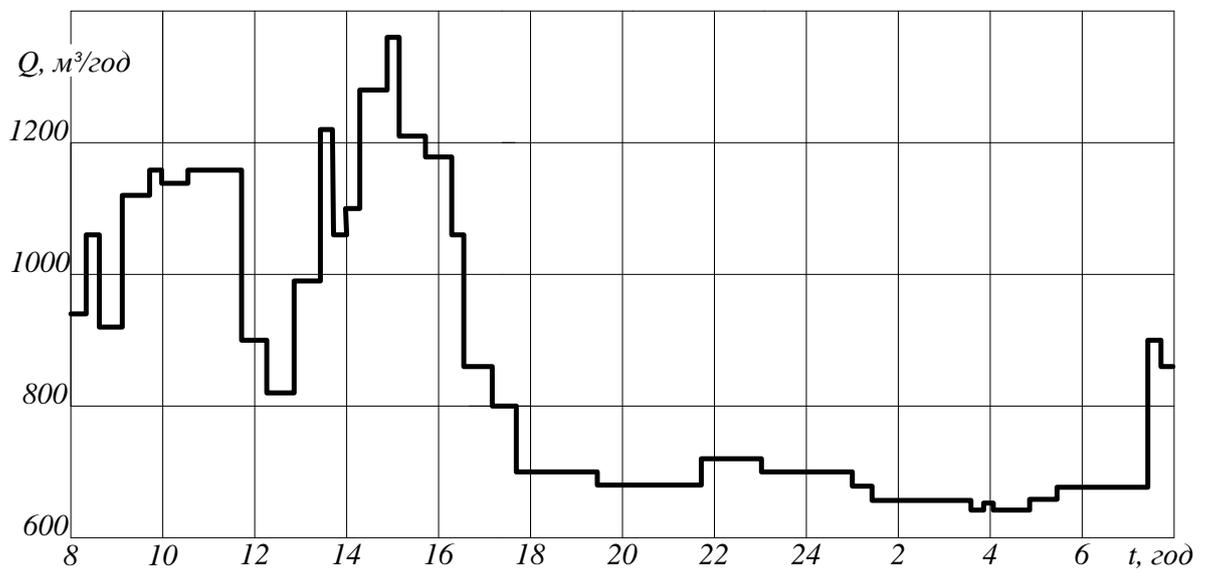


Figure 1.4 Daily schedule of water supply of the pumping unit of the industrial complex

At stable water consumption installations work with constant giving and pressure or a pressure which are connected among themselves by a parity:

$$H = p / \rho g \quad (1.5)$$

where H is the pressure, m;

p - pump pressure, Pa;

ρ is the density of the liquid medium, kg / m³;

g is the acceleration of free fall, m / s.

With increasing water consumption, the supply has to increase. At the same time pressure losses in pipes increase. To compensate for these losses, it is necessary to increase the pressure developed by the pump set. As water consumption decreases, supply and pressure must be reduced.

The adjustment of water consumption and supply is currently carried out most often by changing the number of operating pump units or the degree of opening of valves (gates) on the pressure lines of pumps and pumping units.

The mode of operation of the pumping unit, which supplies water to consumers through the accumulating tank (tank, water tower, etc.), is characterized by the fact that in certain periods of time the supply of the pumping unit differs from water consumption.

If the supply is more water consumption, the water level in the tank rises, if less, the level falls. In case of equality of supply and water consumption the level in the tank is stabilized at one mark.

Adjustment of the operating mode of the pump installation consisting of one unit is carried out by inclusion of the unit at decrease in water level to the set lower value and shutdown at achievement of the set top value. Then the cycle repeats.

If the pump set consists of several units, its mode of operation differs in that it is set by several upper and lower levels, when reaching which the number of operating units changes. With increasing water consumption, the frequency of inclusions of the units increases, the duration of pauses decreases. Because when the water consumption increases, the volume of liquid in the tank is triggered

faster, while the liquid level reaches the lower position faster and, as a result, additional pumps are switched on more often.

The mode of operation of pumping units when pumping liquid from sewage tanks , drainage, reclamation, etc.) is similar to the above, with the difference that the units are included in the filling of tanks to the upper levels, and turned off when emptying to the lower.

The number of on-off pump units in pumping stations with tanks reaches 40-50, and in some cases 100 inclusions per day.

As such number of inclusions for units of big power is inadmissible, in pump installations with units with a power more than 150 kW instead of their inclusions - shutdowns throttling of a stream of water by a latch is used.

As the pressure increases, the liquid level in the tank from which the liquid is pumped rises. In this case, the valve on the pressure line of the pump opens. As the pressure decreases, the level drops and the latch closes.

In pumping units that supply water to tanks, the level in the tank decreases with increasing water consumption. In this case, the valves on the pressure lines open. When water consumption decreases, the level rises, and the latch (shutter) in this case is covered.

The control over the mode of operation of the pump installation is carried out by means of the following measuring devices: manometers, level gages, counters of the electric power, ammeters, etc. Changing the mode of operation of the pumping unit affects the mode of operation of individual pumping units , which make up the installation [6].

The analysis of the mode of operation of pumping units is performed using the characteristics of pumps and pipelines, which will be discussed in more detail below .

The characteristics of pumps are called dependent pressure H in powers P , efficiency η of the pump Q at a certain speed of rotation n impeller diameter D .

The operation of the pump is most economical when its supply and pressure correspond to the maximum value of efficiency. However, some deviation of the

operating parameters of these pumps from the values specified in the catalogs. However, they must not exceed the recommended pump feed . Beyond these limits, the pumps operate with low efficiency values, with possible overload of the pump unit, and there is a risk of cavitation and surge. Discontinuity of fluid flow, accompanied by the formation of blisters filled with fluid vapors, gases or their mixture, called ka vitatsiyeyu [4-5].

The phenomenon of cavitation is accompanied by additional energy losses and destruction of the surfaces of the impeller and pump housing. In pumps, the characteristic $Q - H$ of which consists of two branches, increasing and decreasing, there may be a phenomenon called surge . In this case, it is possible to intersect the characteristics of the pipeline with the characteristics of the pump at two points. At the same time the pump works alternately with the operating parameters corresponding to these two points, and all system works shakily, loading on the unit changes, there are hydraulic shocks. Operation of the pump in the modes of a surge and cavitation is inadmissible.

1.4 Pump installation of pressure increase

Efficient water supply is the key to progress and comfort. The pump installation of increase of pressure consists of three pumps N BE32-160.163 connected in parallel, equipped with necessary fittings and a control board

It is used for systems with significant changes in the level of daily supply, namely:

- unexpected fluctuations in the range between minimum and maximum consumption levels;
- long-term and continuous changes in the level of consumption;
- constant pressure.

It can also be used for industrial purposes, irrigation, etc. since the range of functions performed by the drive is wide:

- regulation of working characteristics;
- automatic cascade control of pumps;

- automatic switching between working pumps (to ensure an equal number of operating hours of each of the pumps);
- manual control (provides testing of individual pumps);
- various action on the working point;
- digital remote control function (provides start and stop, systems, economy mode, controls the number of working pumps, operation in fire extinguishing mode;
- control function of the pump and the device (provides the task of the minimum and maximum value of the measured value, protection of the bend);
- display of operating modes and accidents.

In Fig.1. 5. shows the functional diagram of the pump installation: [5].

- 1 - control panel of pumps ShchKN-3;
- 2 - pressure pipeline;
- 3 - suction pipe;
- 4 - pump N BE32-160.163;
- 5 - pressure sensor;
- 6 - shut-off valve;
- 7 - check valve;
- 8 - flexible insert;
- 9 - pressure switch;
- 10- manometer.

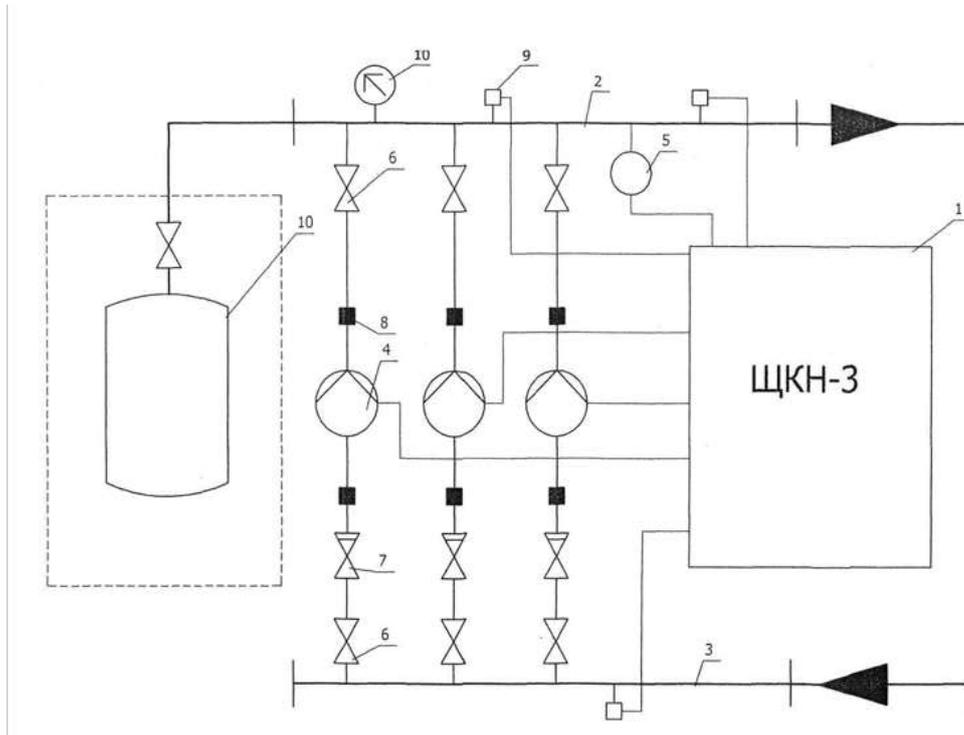


Figure 1.5 Functional diagram of the pump installation

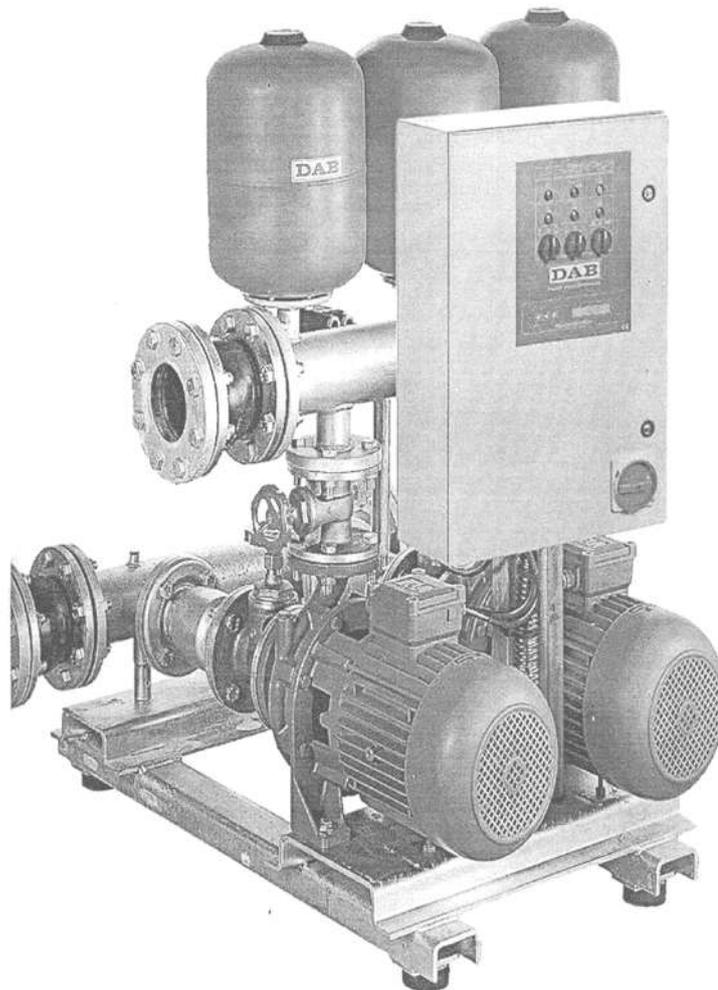


Figure 1.6 Pump set n and pressure movement

1.5 Technical requirements for the electric drive

1.5.1 Requirements to the set of tasks to be solved

To implement the task of controlling the pumping unit, the electric drive must provide:

- start and stop of the pump;
- automatic change of engine shaft speed to maintain a constant pressure in the consumer network;
- external stop of the pump in case of receipt of an alarm signal from the sensor (at deviation of parameters from admissible technological limits);
- protection against emergency modes of operation of the electric motor
-

1.5.2 Requirements for transients

The characteristics of transients must meet the following requirements:

- static error in steady-state operation is 0;
- readjustment at start-up no more than 20%;
- overregulation at increase or reset of loading no more than 20%.

1.5.3 Safety requirements

When designing ASC, measures must be taken to ensure safety during installation, operation, maintenance and repair of technical means in accordance with the regulations in force in Ukraine.

"Sanitary standards for the design of industrial enterprises " ;

"Rules of arrangement of electrical installations " ;

"Fire automation of buildings and structures " ;

„System of labor safety standards (SSBP). Production equipment.

General safety requirements ” ;

"SSBP. Signal colors and safety signs ” ;

All external elements of the technical means of ACS, which are under voltage, must be protected against accidental contact:

- access to the rotating parts of the pump set must be restricted.
- electrical elements must have a protective zero.
- measures should be taken to limit the level of industrial noise, as well as fire extinguishers [6-7].

1.5.4 Requirements for ergonomics and technical aesthetics

The pump installation should be located in a well-lit, heated room, in a place convenient for its maintenance by technical personnel that will allow to provide speed, simplicity, economy of maintenance and repair in normal and emergency conditions.

The design and arrangement of boards, panels, should provide visibility and simplicity of service.

Signs and markings must be installed on the equipment to ensure speed of installation and repair.

1.5.5 Requirements for operation, maintenance and repair of system components

The pump installation must be located indoors, which eliminates the effects of precipitation and installed on a special foundation.

The area of the premises must meet the requirements of manufacturers for placement and maintenance of technical means and sanitary norms.

When designing power supply and artificial lighting systems for the placement of technical means, it is necessary to comply with the requirements of the "Rules for the arrangement of electrical installations . "

The above requirements are developed at the stage of technical design and are added to the task for the design of premises.

Safety instructions for pump operation must be developed, giving clear instructions on:

- installation;
- connection of electrical equipment;

- commissioning;
- service.

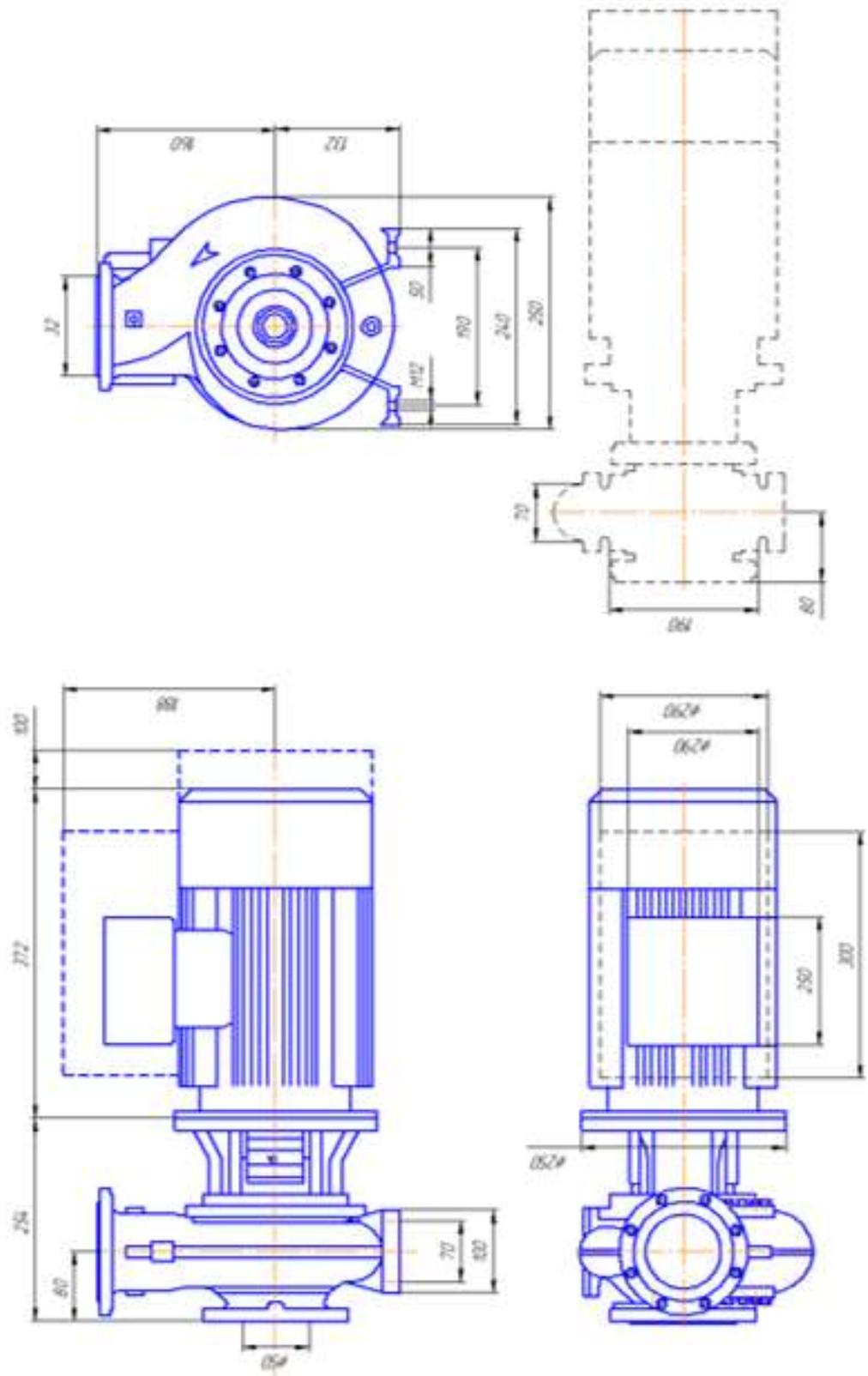
1.5.6 In terms of economic feasibility

The application of the developed pumping unit should provide a significant economic effect, namely:

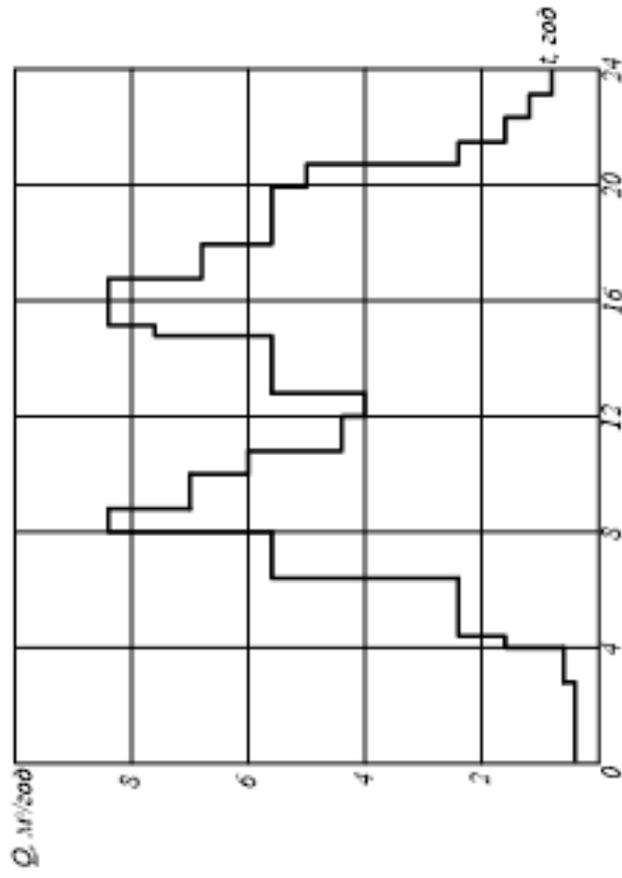
- saving electricity;
- saving of the liquid pumping the pump;
- reducing the number of equipment involved in the operation of the installation;
- increasing the service life of the operated pipeline network;
- cheapness of the used equipment;
- short payback period.

Габаритне креслення насоса

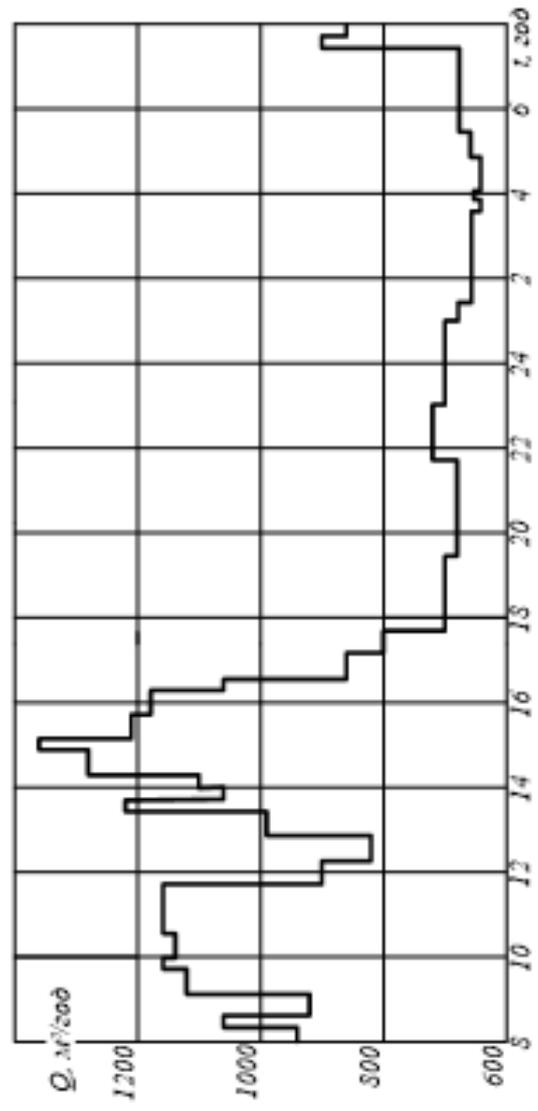
1



Добовий графік ВОДОСПОЖИВАННЯ населеного пункту

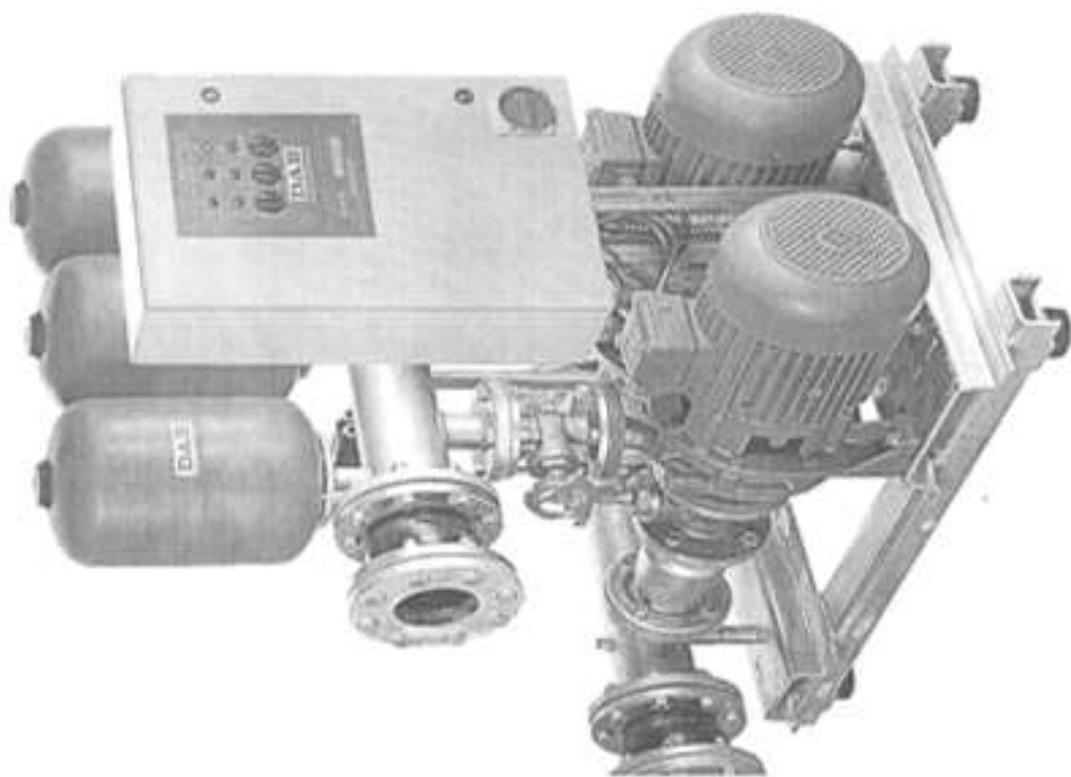


Добовий графік ВОДОПОДАЧІ НАСОСНОЇ УСТАНОВКИ ПРОМИСЛОВОГО КОМПЛЕКСУ

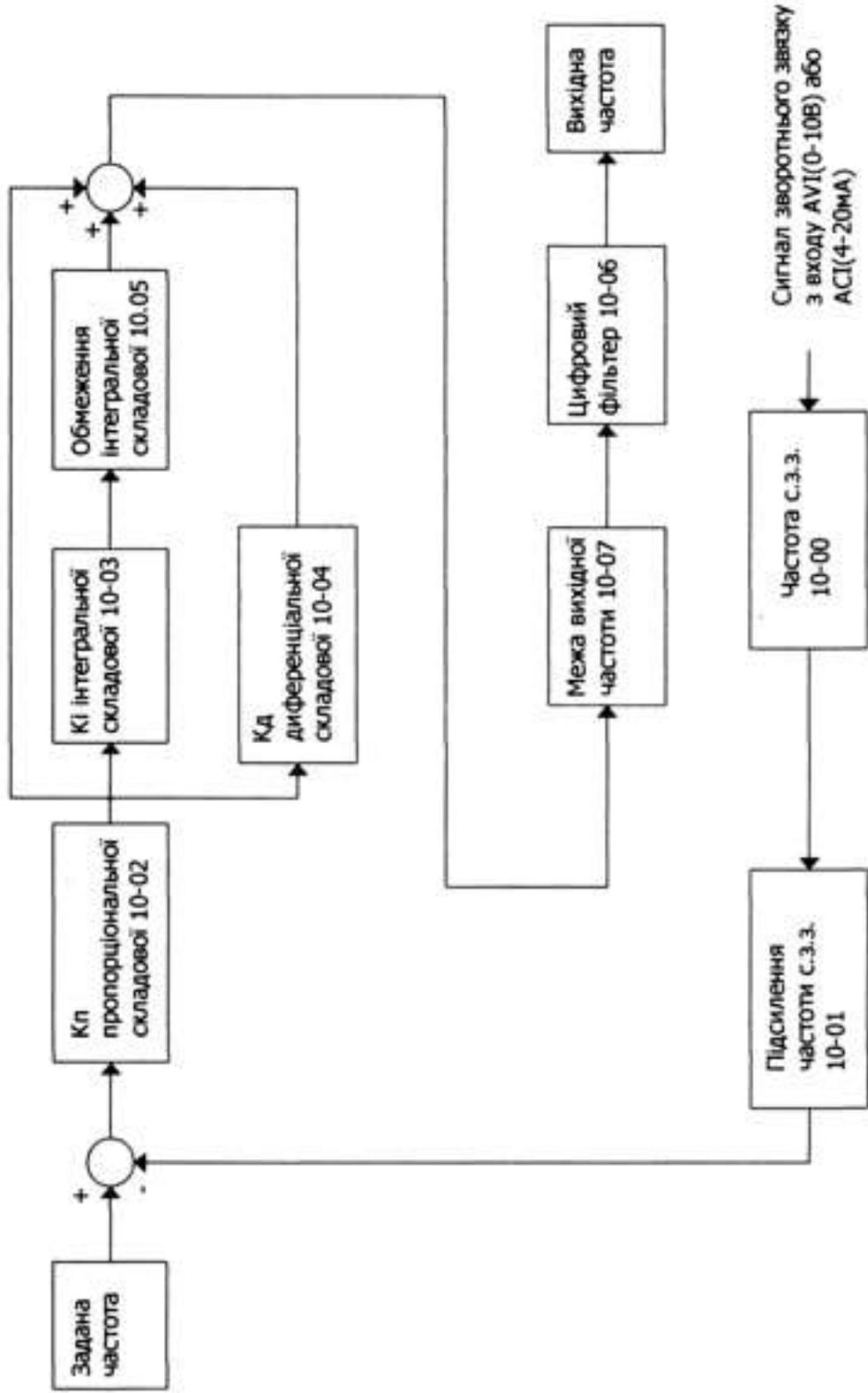


Нососна установка підвищення тиску

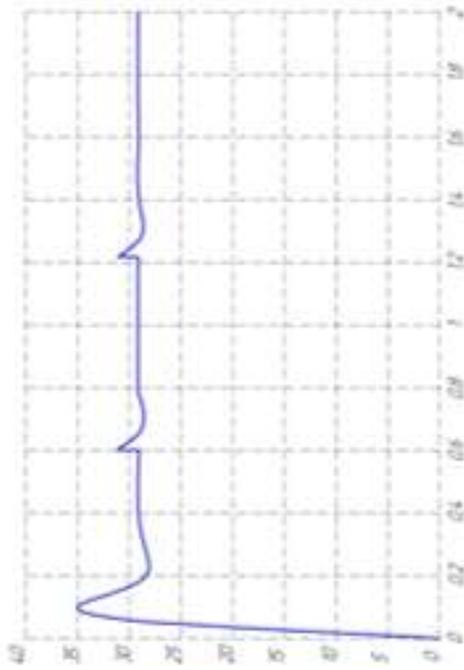
3



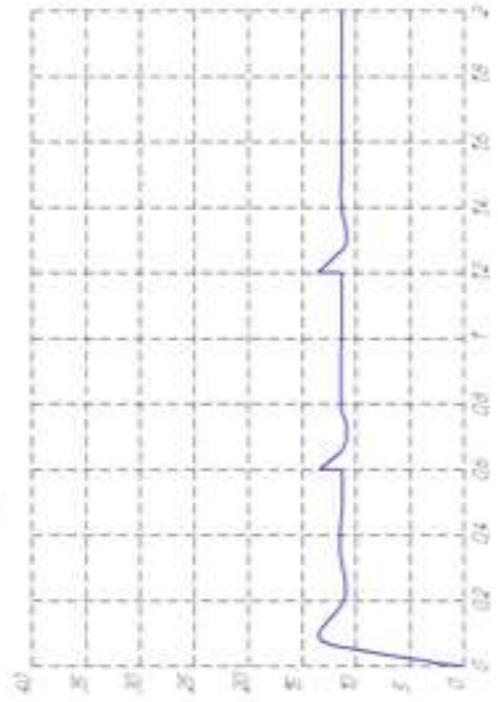
Блок схема ПДД – регулятора



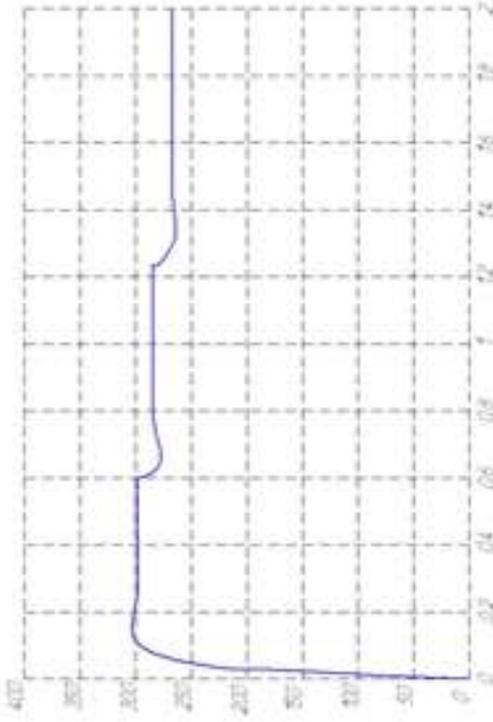
Графік перехідних процесів напору



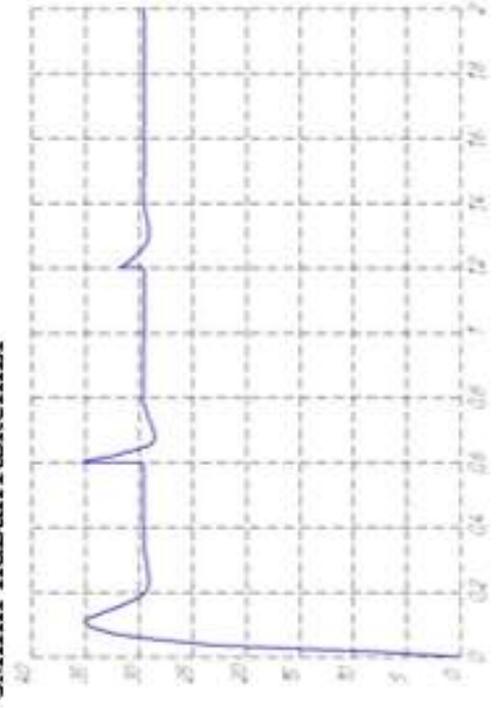
Графік перехідних процесів напору при зміні швидкості



Графік перехідних процесів швидкості



Графік перехідних процесів напору при зміні навантаження



Графік перехідних процесів напору при зміні навантаження

7

