

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Інститут енергозбереження і енергоменеджменту
Кафедра автоматизації управління електротехнічними комплексами

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

(підпис) Віктор РОЗЕН
(ім'я, прізвище)

“ ____ ” _____ 2021р.

Дипломний проєкт

за освітньо-науковою програмою «Інжиніринг електротехнічних комплексів»

зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

на тему: «Електромеханічне обладнання та автоматизація насосної станції опріснення води»

Виконав: студент IV курсу, групи ОА-71
(шифр групи)

Горобець Андрій Миколайович
(прізвище, ім'я, по батькові) _____ (підпис)

Керівник к.т.н., доц. Чермалих О.В.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) _____ (підпис)

Консультант з електропостачання к.т.н., доцент, Мейта О.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) _____ (підпис)

Консультант з охорони праці к.т.н., доцент, Козлов С.С.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) _____ (підпис)

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

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

Студент _____ Андрій ГОРОБЕЦЬ
(підпис)

Київ – 2021

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

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту

Кафедра Автоматизації управління електротехнічними комплексами

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма «Інжиніринг електротехнічних комплексів»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Віктор РОЗЕН

« ____ » _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Кошилю Павлу Віталійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту «Електромеханічне обладнання та автоматизація насосної станції опріснення води», керівник проєкту Чермаоих Олександр Валентинович доцент, затверджені наказом по університету від «21» травня 2021 р. №1353-с

2. Термін подання студентом проєкту 14 червня 2021 р.

3. Вихідні дані до проєкту – Розміри майстерні - 15·9 м, висота підвісу світильників $h = 2$ м. Місце встановлення станції – м.Керч, кількість квартир багатоповерхівок, які має забезпечувати водою станція - 6087

4. Зміст пояснювальної записки:

Загально-технічна частина Класифікація і застосування систем опріснення води. Вибір технологічної схеми та розрахунок її параметрів. Вибір насосного агрегату

Електропостачання Розрахунок електричних навантажень Керченської насосної станції, вибір перетину проводів, розробка принципової електричної схеми, вибір електричних апаратів, розрахунок та вибір компенсаторів реактивної потужності

Спеціальна частина Вибір електроприводу насосної станції, вибір перетворювача частоти. Моделювання системи автоматичного керування, розрахунок параметрів структурної схеми. Побудова напірних характеристик.

Автоматизація Вибір системи автоматизації та пристроїв керування установкою. Принцип роботи системи автоматизації. Вибір датчиків.

Охорона праці Розробка заходів безпеки експлуатації обладнання, заходів і засобів пожежної в підприємстві.

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

1 аркуш - Загально-технічна частина;

2 аркуш - Схема електропостачання Керченської насосної станції;

3 аркуш - Спеціальна частина;

4 аркуш – Автоматизація опріснювальної установки зворотнього осмосу.

6. Консультанти розділів проєкту*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
2 Електропостачання	к.т.н., доцент, Мейта О.В.		
5 Охорона праці	к.т.н., доцент, Козлов С.С.		

7. Дата видачі завдання 20.05.21

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1.	Загально-технічна частина	20.05-23.05	
2.	Електропостачання	24.05-28.05	
3.	Спеціальна частина	29.05-4.06	
4.	Охорона праці	5.06- 7.06	
5.	Підготовка графічного матеріалу	8.06- 12.06	

Студент

Андрій ГОРОБЕЦЬ

Керівник

Олександр ЧЕРМАЛИХ

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

[illegible]

					2410 ДП.ОА-71-02					
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата						
Розроб.		Горобець А.М.			Відомість дипломного проєкту		Лит.	Аркуш	Аркушів	
Перевір.		Чермалих О.В.							1	1
Реценз.							КПІ ім. Ізгоря Сікорського Каф. АЧЕК, гр. ОА-71			
Н. Контр.		Смоляр В.Г.								
Затверд.		Розен В.П.								

**Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Електромеханічне обладнання та
автоматизація насосної станції опріснення води»**

Київ – 2021 року

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Інститут енергозбереження і енергоменеджменту
Кафедра автоматизації управління електротехнічними комплексами

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

(підпис) Віктор РОЗЕН
(ім'я, прізвище)

“ ” _____ 2021р.

Пояснювальна записка

за освітньо-науковою програмою «Інжиніринг електротехнічних комплексів»

зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

на тему: «Електромеханічне обладнання та автоматизація насосної станції опріснення води»

Виконав: студент IV курсу, групи ОА-71
(шифр групи)

Горобець Андрій Миколайович
(прізвище, ім'я, по батькові) _____ (підпис)

Керівник к.т.н., доц. Чермалих О.В.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) _____ (підпис)

Консультант з електропостачання к.т.н., доцент, Мейта О.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) _____ (підпис)

Консультант з охорони праці к.т.н., доцент, Козлов С.С.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) _____ (підпис)

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

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

Студент _____ Андрій ГОРОБЕЦЬ
(підпис)

Київ – 2021

					2410 ДП.ОА-71-02 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зміст

Вступ	4
1. Загально-технічна частина.....	7
1.1 Характеристика установки опріснення води	7
1.1.1 Класифікація сучасних установок і систем для опріснювання	7
1.1.2 Аналіз сучасного стану розробки устаткування для опріснення води	7
1.1.3 Опріснювальна установка зворотнього осмосу	10
1.2 Розрахунок продуктивності установки згідно вихідних даних	14
1.2.1 Об'єкт забезпечення опрісненою водою	14
1.3 Вибір технологічної схеми та розрахунок її елементів	15
1.3.1 Розрахунок напівпроникної мембрани	18
1.4 Визначення потужності , вибір та побудова характеристики насосного агрегату..	22
1.4.1 Принцип роботи відцентрового насосу	22
1.4.1 Вибір насосу високого тиску	24
2. Електропостачання.....	27
2.1 Характеристика умов проектування та розподілу електроенергії.....	27
2.2 Розрахунок освітлення	28
2.2.1 Розрахунок освітлення майстерні методом коефіцієнта використання світлового потоку	29
2.2.2 Розрахунок прожекторного освітлення промислового майданчику.....	30
2.3 Розрахунок електричних навантажень.....	32
2.4 Розрахунок електричних мереж	35
2.4.1 Розрахунок струмів навантаження групи електроприймачів.....	35
2.4.2 Вибір перетину провідників і жил кабелів за нагрівом.....	36
2.4.3 Розрахунок електричної мережі за економічною густиною струму	37
2.4.4 Вибір ліній мережі за умови механічної міцності	38
2.4.5 Розрахунок електричної мережі за допустимими втратами напруги	38
2.4.6 Остаточний вибір перетинів проводів і жил кабелів	40
2.5 Розрахунок струмів КЗ	41
2.5.1 Розрахунок струмів КЗ в мережах напруги до 1000 В.....	42
2.6 Вибір електричних апаратів	47
2.6.1 Добір магнітних пускачів	48
2.6.2 Вибір автоматичних вимикачів у загальнопромисловому виконанні	49
2.7 Основні енергетичні показники підприємства	51
2.7.1 Розрахунок втрат потужності в трансформаторах	51

					2410 ДП.ОА-71-02 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.7.2 Розрахунок втрат потужності в лініях електричної мережі	52
2.7.3 Розрахунок компенсація реактивної потужності.....	53
3. Спеціальна частина	58
3.1 Обґрунтування та вибір системи електроприводу	58
3.1.1 Регулювання режимів роботи насосної станції	58
3.1.2 Вибір електроприводу установки	62
3.2 Розрахунок і вибір перетворювача частоти	66
3.2.1 Перевірка режимів обраного ПЧ.....	69
3.3 Визначення системи регулювання та моделювання режимів роботи установки ...	71
3.3.1 Вибір датчика швидкості.....	71
3.2.2 Вибір датчика струму	72
3.3 Моделювання режимів роботи насосної станції опріснення води.....	73
3.3.1 Моделювання САК в програмному середовищі Matlab	73
3.3.2 Розрахунок параметрів структурної схеми САК	73
3.3.3 Результати моделювання.....	76
3.4 Побудова напірних характеристик роботи насосної станції.....	80
3.4.1 Особливості побудови характеристик роботи установки	80
3.4.2 Побудова механічних характеристик для законів частотного регулювання....	83
4. Автоматизація.....	88
4.1 Вибір системи автоматизації та пристроїв регулювання.....	88
4.1.1 Вибір датчиків тиску та температури	89
4.1.2 Вибір датчиків потоку та електропровідності.....	91
4.2 Вибір електроприводних клапанів	93
4.3 Параметри контролеру ОС 6000.....	94
5. Охорона праці	98
5.1 Аналіз умов праці.....	98
5.1.1 Оптимальні та допустимі умови мікроклімату.....	99
5.1.2 Освітлення	101
5.1.3 Рівень шуму та вібрації на робочому місці	101
5.2 Електробезпека	102
5.2.1 Безпека експлуатації та обслуговування електродвигунів змінного струму	103
5.3 Пожежна безпека	104
5.4 Висновки з охорони праці підприємства	105
Висновки	106
Перелік посилань	108

					2410 ДП.ОА-71-02 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вступ

Однією з головних проблем Півдня України, зокрема зони сухого степу, де середньорічні норми опадів ледве перевищують 300 мм, є нестача прісної води високої якості. Ситуація погіршується тим, що сухий степ в прибережній зоні Чорного моря характеризується великими запасами підземних вод із високою загальною мінералізацією від 1 до 35 г/л [1].

Широке застосування як на виробництві так в побуті знайшли відцентрові насоси. Приблизно 25% усієї вироблюваної електроенергії на земній кулі витрачається на електропривод насосів, вентиляторів і компресорів, крім того найбільшу частку цієї енергії споживають відцентрові насоси.

Але до недавнього часу велика частина електроприводів зазначених механізмів були нерегульованими. Традиційні способи регулювання подачі на насосних установках полягають у дроселюванні напірних ліній і зміні загального числа працюючих агрегатів. Такі способи регулювання спрямовані на рішення технологічних задач і фактично не враховують енергетичних аспектів транспорту води.

Режими роботи механізмів відцентрового типу визначаються трьома величинами: подачею, напором, і кутовою швидкістю. Однак у реальному житті виявляється, що насосні установки, що вводяться знову в експлуатацію, виходять на проектні режими протягом декількох років. Тому існуючі станції нерідко працюють у режимах відмінних від розрахункових.

В даний час, завдяки бурхливому розвитку електроніки і появі недорогих перетворювачів частоти на новій елементній базі - силових модулях на базі IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor - біполярний транзистор з ізольованим затвором) стало можливим регулювання швидкості обертання асинхронних двигунів у широких масштабах. Використання регулювання частоти обертання приводного двигуна насоса для регулювання подачі на насосних установках дозволяє досягати значного заощадження енергії, у порівнянні з дроселюванням.

					2410 ДП.ОА-71-02 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Отримано можливість гнучкого й оперативного розв'язання задач подачі води і водовідведення при істотному зниженні витрати електроенергії при перекачуванні води і стоків. Однак, щоб реалізувати таку можливість, необхідно на всіх стадіях розробки, впровадження й експлуатації систем керування режимом подачі води мати у своєму розпорядженні максимально повну кількісну інформацію про стан об'єкта автоматизації. В даний час регулювання частоти обертання широко використовується в насосах, вентиляторах і турбокомпресорах з асинхронними двигунами.

Крім того, мають місце добові, тижневі і сезонні коливання витрат і напорів, обумовлені змінним водоспоживанням, у результаті чого робочі режими насосів виявляються поза робочими зонами їхніх характеристик.

Розробка і удосконалювання нових засобів електропривода: електродвигунів, транзисторних перетворювальних пристроїв, мікропроцесорних регуляторів, створили передумови для розробки принципово нової технології транспорту води з плавним регулюванням робочих параметрів насосної установки без непродуктивних витрат електроенергії і із широкими можливостями підвищення точності й ефективності технологічних критеріїв роботи систем водопостачання.

Задачею даного дипломного проєкту є: автоматизація насосної станції опріснювальної установки зворотнього осмосу, розрахунок та вибір електромеханічного обладнання, датчиків, електричних апаратів, моделювання роботи установки, проєктування та розрахунок електричної мережі підприємства.

					2410 ДП.ОА-71-02 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

1. Загально-технічна частина

1.1 Характеристика установки опріснення води

1.1.1 Класифікація сучасних установок і систем для опріснювання

Сучасні установки і системи для опріснення класифіковані наступним чином: По виду процесу: зі зміною агрегатного стану розчину (дистиляція, виморожування, геліопріснення); зі збереженням поточного агрегатного стану - це хімічні, мембранні, екстракційні і біологічні технології (іонний обмін, електроліз, осадження солей за допомогою реагентів; електродіаліз, зворотний осмос; екстракція, адсорбція; опріснення водоростями, живими організмами і бактеріями)

За енерговитратами: одноцільові - опріснення, очищення стічних вод; багатоцільові - вироблення енергії, виділення води, витяг подібних продуктів. За сферою використання: промисловість; сільське господарство; комунальне опріснення.

За структурою технології: з одним методом опріснення; комбіновані, в структуру яких входять кілька методів опріснення одночасно. одно- або багатоступінчасті; одно- і багаторядні; вертикальні або горизонтальні.

1.1.2 Аналіз сучасного стану розробки устаткування для опріснення води

Сучасні дистиляційні опріснювачі бувають одноступінчасті, багатоступінчасті з трубчастими нагрівальними елементами, або випарниками, багатоступінчасті з миттєвим скипанням і парокомпресійні. Багатоступінчастий випарник складається з ряду послідовно працюючих випарних камер з трубчастими нагрівальними елементами.

Найбільш істотним недоліком дистиляційних опріснювачів в промисловості, є відносно великі витрати тепла - до 3 МДж на 1 кг дистиляту. Такій витраті тепла відповідає вихід лише 11-12 т дистиляту на 1 т палива.

					2410 ДП.ОА-71-02 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Загально-технічна частина		
Розроб.		Горобець А.М.					
Перевір.		Чермалих О.В.					
Реценз.							
Н. Контр.		Смоляр В.Г.					
Затверд.		Розен В.П.					
					Літ.	Арк.	Аркушів
						7	114
					«КПІ ім. Ігоря Сікорського» ІЕЕ		

Одна з найбільш успішних спроб обійти ряд таких труднощів привела до розробки процесу багатостадійної флеш-дистиляції, який схематично зображений на рис. 1.1. Оскільки тиск в цій камері знижений, частина розсолу випаровується і після конденсації перетворюється в прісну воду. Коли розсіл випаровується, відбувається його часткове охолодження. Потім він надходить в камеру С, де тиск є ще нижчим, ніж в камері D. Тут відбувається випаровування ще деякої кількості води, а розсіл, що залишився, ще більше охолоджується. Таким чином, на кожній наступній стадії розсіл стає все більш концентрованим і все більш охолодженим. На останній стадії частина розсолу, який містить тепер приблизно 7% солей за вагою, змішується з морською водою, частина розсолу скидається в море.

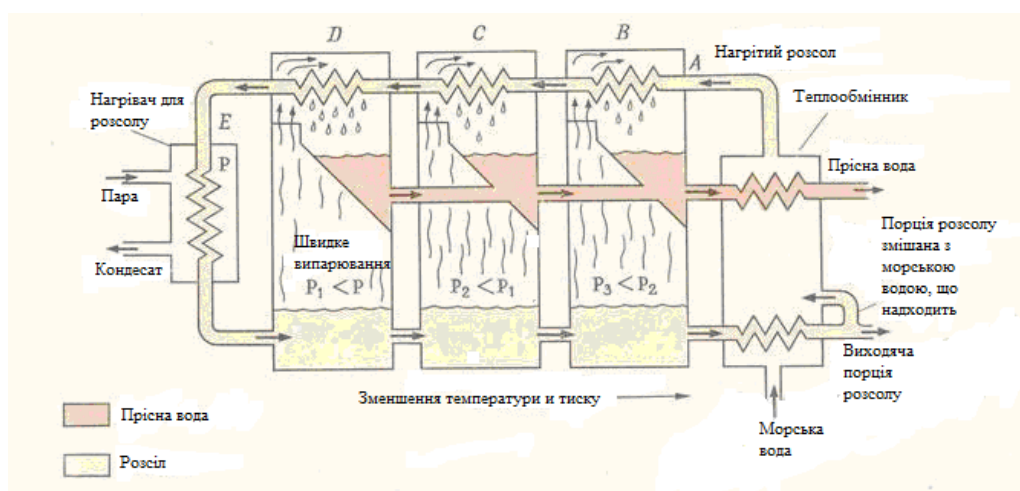


Рисунок 1.1 – Схема процесу багатостадійної флеш-дистиляції для опріснення

На рис. 1.2 наведена велика промислова установка з опріснення морської води методом багатостадійної флеш-дистиляції. Така установка здатна виробляти щодня близько дев'яти тисяч тон прісної води. Ефективність роботи установки багато стадійної флеш-дистиляції обмежена головним чином виникненням накипу в системі циркуляції гарячого розсолу. Щоб перешкодити їх осадженню і тим самим зробити можливою експлуатацію системи при більш високих температурах, застосовуються різні добавки. Витрати тепла на

отримання 1 кг прісної води в одноступінчастому дистиляційному опріснювачі становить близько 2400 кДж; рекуперація тепла фазового переходу в багатоступеневому опріснювачі дозволяє понизити витрату тепла на 1 кг прісної води до 250..300 кДж/кг.



Рисунок 1.2 – Десятикорпусні опріснювальні установки типу ДОУ

Основна частина витрат при здійсненні будь-якого варіанту процесу дистиляції пов'язана з великими витратами теплової енергії. Для типової установки багатостадійної флеш-дистиляції вартість пари складає приблизно 40% від вартості одержуваної прісної води. У зв'язку з цим запропоновано безліч інших способів опріснення води, які не пов'язані з необхідністю її випаровування. В одному із способів прісну воду видаляють з морської води шляхом її заморожування. Однак, процес заморожування теж вимагає витрат енергії.

Геліоопріснення. Високі значення інсоляції в зоні сухого степу на узбережжі Чорного моря (тривалість сонячного випромінювання складає від 2400 до 2600 годин на рік) приводять до висновку про доцільність покриття дефіциту води за рахунок геліоопріснення. Сутність цього методу полягає в тому, що під впливом сонячної радіації в басейні, заповненому солоною водою, відбувається її

					2410 ДП.ОА-71-02 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

випаровування, а дистилат, утворений при конденсації пари на похилих, охолоджуваних повітрям поверхнях даху зі скла або пластмаси, збирається в жолобах, розташованих у нижній її частині; розсіл, що залишився видаляється в дренаж. Сонячні опріснювачі доцільно використовувати не тільки для питного водопостачання, але і для опріснення високо мінералізованих ґрунтових вод. Максимальна продуктивність може досягати 5 кг/м²·добу, а в деяких конструкціях геліоустановок – 10 кг/м² добу.

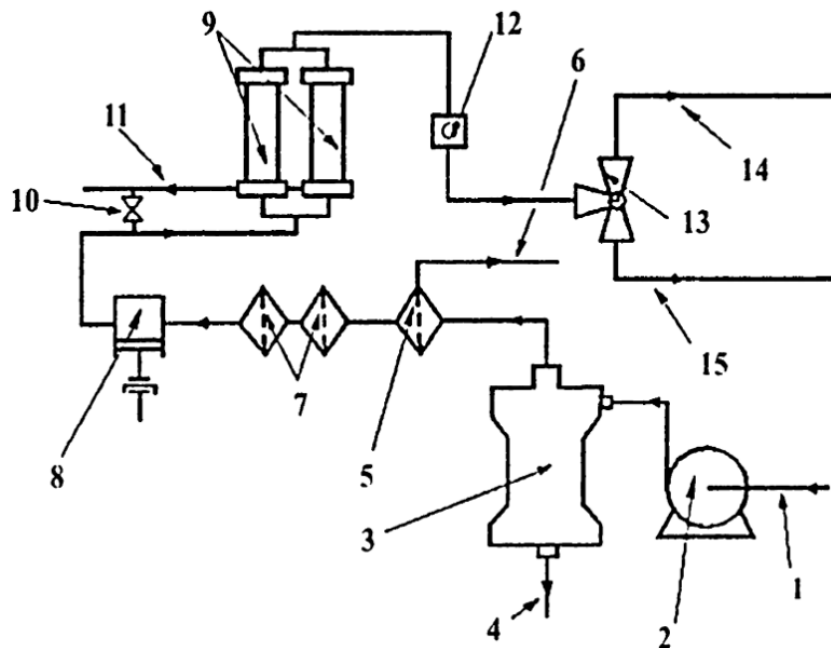
Більшість методів опріснення солоної води вимагає значних витрат теплової або електричної енергії. Найменш енергозатратним способом є опріснення води з використанням установки зворотнього осмосу. В порівнянні з іншими способами, він має доволі велике питоме виробництво опрісненої води на одиницю площі установки, та легко піддається автоматизації. Даний спосіб має і свої недоліки. Вихід опрісненої води може досягати максимум до 75%. Вимогливість до вхідної води по вмісту солей, та інших неорганічних речовин, зокрема піску. Тому в складі установки встановлюють механічні фільтри, які потребують постійного обслуговування. Необхідна повна відсутність бактерій та хлору, які можуть вивести з ладу напівпроникну мембрану. Тому необхідний попередня хімічна заготовка води. Обслуговування напівпроникної мембрани, яка потребує постійного промивання. Необхідна наявність дренажного каналу.

Але низькі енергозатрати на виробництво 1 кубометру опрісненої води, високий ступінь очистки води та можливість повної автоматизації установки робить її зворотній осмос найпопулярнішим способом опріснення води. Тому в даній роботі обирається саме цей спосіб опріснення.

1.1.3 Опріснювальна установка зворотнього осмосу

Зворотній осмос - це дифузія більш солоного розчину до менш солоного через мембрану, при цьому солі (розчинені тверді частинки) залишаються за мембраною. Знесолення морської води шляхом зворотного осмосу - це процес, при якому морська вода, яка перебуває під тиском, проходить через мембрану, при цьому солі, що містяться в ній, залишаються за мембраною.

					2410 ДП.ОА-71-02 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



1 - всмоктуючий трубопровід відцентрового насоса; 2 - відцентровий насос; 3 - гідроциклонний сепаратор; 4 - трубопровід скидання відокремилися твердих частинок за борт; 5 - багатосередній фільтр; 6 -трубопровід зворотньої промивки в море; 7 - фільтр-патрони; 8 - трьохплунжерний насос; 9 - мембрани; 10 - клапан регулювання тиску; 11 - трубопровід скидання відпрацьованої води; 12 - датчик солоності; 13 - триходовий ручний кран; 14 - трубопровід відведення води з підвищеною солоністю за борт; 15 - трубопровід відведення опрісненої води в збірний танк.

Рисунок 1.3 – Загальна схема опріснювальної установки зворотнього осмосу

Опріснювач морської води, що працює на принципі гіперфільтрації (зворотного осмосу), включає відцентровий насос, гідроциклонний сепаратор, багатосередній фільтр, два фільтр-патрона, трьохплунжерний насос, мембрани, датчик солоності.

Принцип роботи полягає в тому, що відцентровий насос подає морську воду в гідроциклонний сепаратор, в якому, за рахунок відцентрових сил і розрядження, з неї видаляються тверді частинки. Потім, очищена від твердих частинок, морська вода надходить в багатосередній фільтр, в якому відбувається

подальша обробка. Потік води рухається зверху вниз через фільтруючий матеріал, зважені частинки осідають у верхній частині цього фільтра і потім видаляються з нього через клапан зворотного промивання. Далі, вода, виходячи з багатосереднього фільтра, надходить на два, включених послідовно, фільтр-патрона тонкого очищення. Один очищає воду від дрібних частинок розміром в 30мк, а інший - в 5мк. Очищена вода надходить в трьохплунжерний (бустерний) насос, який підвищує тиск до 4,8-6,2 МПа. Під цим тиском вода надходить в мембрани зворотнього осмосу. Мембрани відкидають сольовий концентрат і пропускають опріснену воду. Частина відкинутої води тече до клапана регулювання тиску, що підтримує певний тиск перед мембранами, а решта води зливається.

Вихід питної води з опріснювача залежить від температури, тиску і солоності морської води. Мембрани зворотнього осмосу повинні постійно залишатися змоченими - якщо будуть сухими, це може привести до їх руйнування.

Під час тривалої зупинки (кілька днів) необхідно продезінфікувати або простерилізувати мембрани, заповнивши систему біоцидним розчином, це дозволить запобігти утворенню бактерій в мембранах, насосі і трубопроводі високого тиску. Очищення мембран повинна проводитися кожного разу при зниженні продуктивності на 10%. Для очищення мембран необхідно використовувати лужний або кислотний очищуючий розчин.

Очищена вода має відповідати вимогам згідно державних санітарних норм та правил "Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною" (ДСанПіН 2.2.4-171-10). Основні параметри води, які відповідають вимогам наведені в табл. 1.1.

					2410 ДП.ОА-71-02 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.1 – Санітарно-хімічні показники безпеки та якості питної води

N з/п	найменування показників	Одиниці виміру	Нормативи для питної води		
			водопровідної	з колодязів та каптажів джерел	фасованої, з пунктів розливу та бюветів
1. Органолептичні показники					
1	Запах: при t 20 град.С при t 60 град.С	бали	до 2 до 2	до 3 до 3	0 (до 2) ⁴ до 1 (2) ⁴
2	Забарвленість	градуси нефелометрична одиниця	до 20 (35) ¹	до 35	до 10 (20) ⁴
3	каламутність	каламутності (1 НОК = 0,58 мг/куб.дм)	до 1,0 (3,5) ¹ до 2,6 (3,5) ¹ - для підземного вододжерела	до 3,5	до 0,5 (1,0) ⁴
4	Смак та присмак	бали	до 2	до 3	0 (до 2) ⁴
2. Фізико-хімічні показники					
а) неорганічні компоненти					
5	Водневий показник	одиниці рН	6,5 – 8,5	6,5 – 8,5	6,5 – 8,5 ⁵ (понад 4,5)
6	діоксид вуглецю	%	не визначається	не визначається	0,2 – 0,3 – для слабогазованої 0,31 – 0,4 – для середньогазованої 0,41 – 0,6 – для сильногазованої
7	Залізо загальне	мг/куб.дм	до 0,2 (1,0) ¹	до 1,0	до 0,2
8	загальна жорсткість	ммоль/куб.дм	до 7,0 (10,0) ¹	до 10,0	до 7,0
9	Загальна лужність	ммоль/куб.дм	не визначається	не визначається	до 6,5
10	Йод	мкг/куб.дм	не визначається	не визначається	до 50
11	кальцій	мг/куб.дм	не визначається	не визначається	до 130
12	Магній	мг/куб.дм	не визначається	не визначається	до 80
13	Марганець	мг/куб.дм	до 0,05(0,5) ¹	до 0,5	до 0,05
14	мідь	мг/куб.дм	до 1,0	не визначається	до 1,0
15	Поліфосфати ³⁻ (за PO ₄)	мг/куб.дм	до 3,5	не визначається	до 0,6 (3,5) ⁴
16	Сульфати	мг/куб.дм	до 250 (500) ¹	до 500	до 250
17	Сухий залишок	мг/куб.дм	до 1000 ¹ (1500)	до 1500	до 1000
18	Хлор залишковий вільний	мг/куб.дм	до 0,5	до 0,5	до 0,05
19	Хлориди	мг/куб.дм	до 250 (350) ¹	до 350	до 250
20	Цинк	мг/куб.дм	до 1,0	не визначається	до 1,0
б) органічні компоненти					
21	Хлор залишковий зв'язаний	мг/куб.дм	до 1,2	до 1,2	до 0,05

1.2 Розрахунок продуктивності установки згідно вихідних даних

1.2.1 Об'єкт забезпечення опрісненою водою

Для проектування опріснювальної установки зворотнього осмосу необхідно визначити параметри системи, в першу чергу необхідну подачу. Об'єктом водопостачання є ряд багатоповерхівок, що розміщуються в м. Керч вздовж вул. Юрія Гагаріна та вул. Фурманова та між ними. Загальна кількість двох- та трьохкімнатних квартир становить $N = 6087$. На рис. 1.4 наведений добовий графік витрати холодної та гарячої води даного об'єкту.

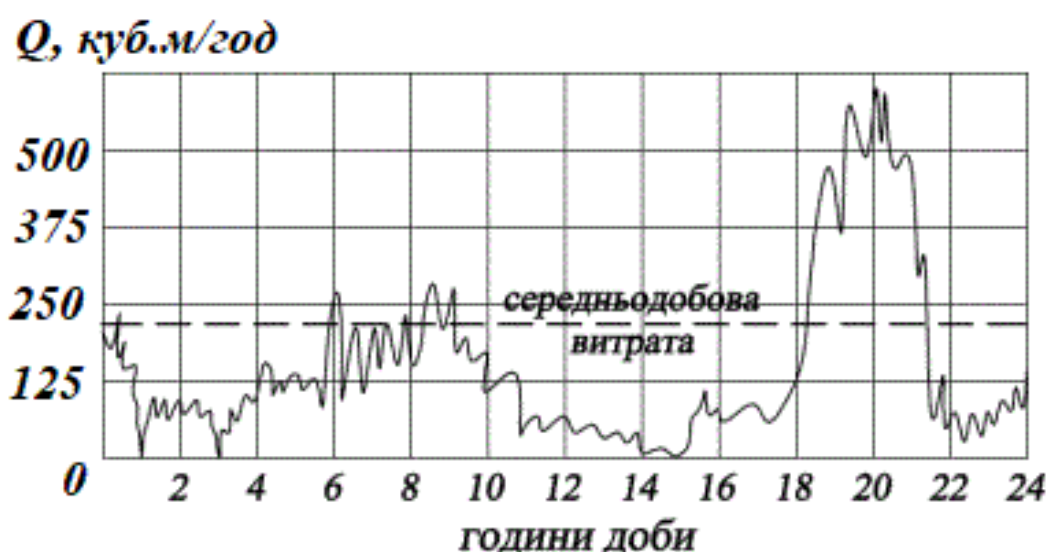


Рисунок 1.4 – Добовий графік витрати води лінії водопостачання.

Визначимо потрібну добову подачу води для даного району враховуючи, що середньозважений коефіцієнт заселення будинків $k_{зас} = 2,5$; а для даної області норма споживання води на одну особу для будинків які «Обладнані водопроводом, каналізацією, з ваннами, санвузлами та гарячим водопостачанням через бойлерну систему» становить $Q_{норм} = 0,33 \text{ м}^3/\text{доб}$.

$$Q_{доб} = k_{зас} \cdot N \cdot Q_{норм} = 2,5 \cdot 6087 \cdot 0,33 \text{ м}^3/\text{доб} = 5021,77 \text{ м}^3/\text{доб};$$

Як правило, в мережах водопостачання багатоквартирних житлових будинків, лікарень, готелів та інших об'єктів з великою кількістю споживачів витрата води є нерівномірною: в таких мережах протягом доби водоспоживання

може змінюватися часто і раптово. З точністю встановити заздалегідь величину витрат води вкрай складно, тому в розрахунках вхідної подачі вводиться коефіцієнт годинної нерівномірності водовикористання. Розрахункова продуктивність опріснювальних установок визначається за формулою:

$$Q = \frac{K_z \cdot K_q \cdot Q_{\text{доб}}}{T}; \quad (1.1)$$

де Q – розрахункова продуктивність, $\text{м}^3/\text{год}$;

K_q – коефіцієнт годинної нерівномірності водовикористання (1,1...1,3);

K_z – коефіцієнт запасу, враховує зменшення добової продуктивності установки внаслідок обслуговування мембранних елементів (1,1...1,2);

$Q_{\text{доб}}$ – необхідна подача на добу, $\text{м}^3/\text{доб}$;

T – тривалість роботи насосної станції, год (приймається рівною 24 год);

$$Q_{\text{вих}} = \frac{1,1 \cdot 1,25 \cdot 5021,77}{24 \text{ год}} = 287,72 \text{ м}^3/\text{год};$$

Збір води, яка буде опріснюватись, здійснюється з глибини 1м керченської протоки. В табл. 1.2 наведено загальні мінеральні параметри даної води.

Таблиця 1.2 – Параметри води керченської протоки

Загальна мінералізація	1800 мг/л
Жорсткість, CaCO_3	140 мг/л
Залізо, Fe	0,07 мг/л
Марганець, Mn	0,03 мг/л
Сірководень, HS	відсутній
Кремній, Si	13 мг/л
Хлор, Cl	0,09 мг/л
SDI	7,5 в.о.
Глибина забору води	1 м
Густина	1011 $\text{кг}/\text{м}^3$
Вязкість	1.01 $\text{г}/\text{см}^3$
Середньорічна температура	18 °C
Водневий показник, pH	7,5

1.3 Вибір технологічної схеми та розрахунок її елементів

Згідно заданої вихідної продуктивності ($287,72 \text{ м}^3/\text{год}$) обираємо

					2410 ДП.ОА-71-02 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

технологічну схему (рис. 1.5) з рециркуляцією концентрату промислової установки зворотнього осмосу (рис 1.6). На підприємстві встановлюється 6 установок номінальною продуктивністю 48 м³/год (сумарно 288), які працюють паралельно. Була обрана дана технологічна схема, адже вона має ряд переваг: відносна простота конструкції та обслуговування, можливість автоматизації, великий ступінь очистки води та великий відсоток вилучення пермеату.

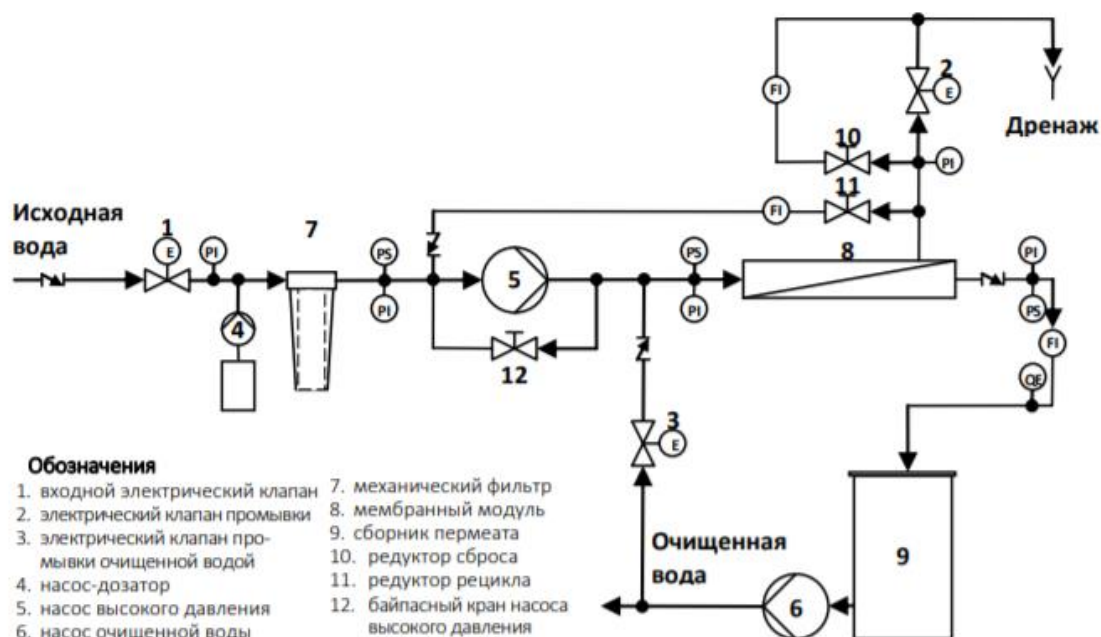


Рисунок 1.5 – Технологічна схема опріснювальної установки



Рисунок 1.6 – Зовнішній вигляд промислової установки зворотнього осмосу

Промислові системи зворотного осмосу призначені для демінералізації води в технологічних, муніципальних, комерційних цілях. Системи очищають

воду низької і середньої мінералізації. всі компоненти системи, що знаходяться в контакті з оброблюваною водою, допущені до використання в контакті з харчовими середовищами і питною водою. Процес зворотно осмотичного очищення води відбувається наступним чином. Вихідна вода подається в установку через механічні фільтри для очищення від грубодисперсних домішок. На цьому етапі в воду можливо дозування антискаланта або інших реагентів для зворотного осмосу при допомозі дозаторів. Потім насос високого тиску подає воду під тиском в мембранний модуль або пакет мембранних модулів.

В процесі мембранного поділу потік вихідної води ділиться на очищену воду (пермеат) і воду, збагачену присутніми в ній домішками (концентрат). Частина концентрату скидається в каналізацію, решта концентрат повертається по лінії рециркуляції на вхід насоса високого тиску і змішується з вихідною водою. Витрати скидається і поворотного концентрату регулюються редукторами скидання і рецикла. Редуктор скидання обмежує потік концентрату, що скидається в каналізацію, що визначає співвідношення між виробленим пермеат і концентратом (так звана. конверсія або «гідравлічний ККД»).

Редуктор рецикла підтримує робочий тиск в мембранному модулі, необхідне для виробництва пермеата. Чим вище тиск в мембранному модулі, тим більше витрата виробленого пермеата. В ході введення в експлуатацію та первинної настройки системи зворотного осмосу, ці два редуктора встановлюються на необхідні значення. Неправильно встановлені витрати скидання і рециркуляції можуть привести до відмови системи в лічені хвилини. Можливі наслідки включають незворотні пошкодження мембранних елементів, пошкодження або руйнування гідравлічної частини системи зворотного осмосу і ризику для оператора. Пермеат подається на вихід пермеата і стікає в збірник очищеної води. Виробництво зупиняється, коли збірка досягає наповнення (за сигналом поплавкового вимикача), або при виникненні тиску в лінії пермеата, позначає наповнення гідроаккумулятора або пошкодження лінії пермеата. виробництво поновлюється при відключенні сигналу.

					2410 ДП.ОА-71-02 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

Системний контролер управляє системою, застосуючи насос і електричні клапани для здійснення виробництва або гідравлічної промивки мембран. контролер зчитує сигнали реле тиску, поплавкового вимикача, датчика температури і електропровідності пермеата і зовнішнього сигналу «СТОП». Залежно від цих сигналів він визначає поточний режим роботи системи. електропровідність пермеата відображається на дисплеї контролера.

Водопровідна вода повинна бути очищена від механічних домішок і залишкового хлору перед очищенням на установці зворотного осмосу. вода з свердловин може містити домішки, такі як солі жорсткості, залізо, марганець, силікати, сірководень, здатні швидко вивести мембрани з ладу. Шкідливий вплив деяких з них може бути нейтралізовано застосуванням антискаланта.

Робочий тиск установки даної продуктивності – від 8 до 12 бар. В подальших розрахунках обладнання буде обиратись для однієї установки, а для інших все буде ідентично.

Згідно вихідної продуктивності та робочого тиску (до 12 бар) обираються трубопроводи в системі: вхідний трубопровід, вихід концентрату та пермеату – ПВХ труба діаметром 100 мм, рецикл концентрату – ПВХ труба діаметром 90 мм, СІР цикл - ПВХ труба діаметром 63 мм, манометри та мембрани приєднуються гнучкою ПЕ трубкою діаметром ¼ дюйма. Розміри установки - 7,00×2,40×2,50 м.

1.3.1 Розрахунок напівпроникної мембрани

Для заданої мінералізації води (1800 мг/л) та продуктивності установки обираємо мембранні корпуси, які мають найбільшу продуктивність серед серійних промислових: Dow Filmtec XLE-440 параметри яких наведені в табл. 1.3 приведені температурі 25°C та мінералізації 2000 мг/л. Габаритні розміри установки наведені на рис 1.7. Енергоефективні зворотноосмосні елементи XLE-440 є високопродуктивним зворотноосмотичним елементом з низькими енергетичними затратами, створеним для досягнення вищої якості очищеної води для промислових і муніципальних споживачів з меншими

					2410 ДП.ОА-71-02 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

експлуатаційними витратами. Маючи активну мембранну площею 41 м², Елемент дозволяє створювати системи зворотного осмосу з меншою кількістю елементів, що вимагає менших капітальних витрат.

Таблиця 1.3 – Паспортні дані мембранного корпусу XLE-440

Тип елементу	XLE-440
Активна площа	41 м ²
Продуктивність пермеату	53 м ³ /доб
Робочий тиск	8,6 бар
Селективність (затримка солей)	99%
Тип мембрани	Поліамідна тонкоплівочна композитна
Максимальна робоча температура	45 °С
Максимальний робочий тиск	41 бар
Максимальне падіння тиску	1 бар
Діапазон рН, при тривалій роботі	2-11
Діапазон рН, при промивці	1-12
Допустима кількість вільного хлору	<0,1 мг/л

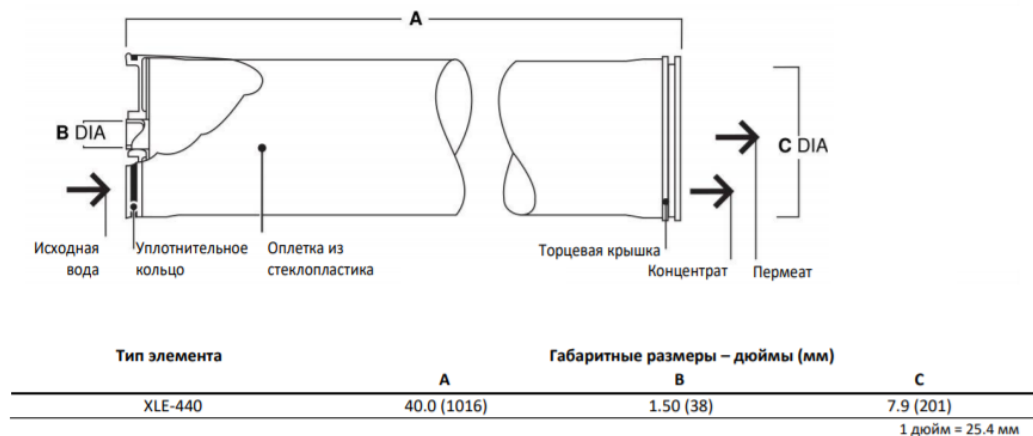


Рисунок 1.7 – Габаритні розміри XLE-440

XLE-440 ідеально підходить для очищення холодної води (в тому числі й при температурі 18°C), так як має високу продуктивність елемента і дозволяє отримувати більше пермеату.

Для отримання необхідної продуктивності з'єднуємо (рис. 1.8) паралельно 8 блоків з 5 послідовно з'єднаних мембран (так досягається вихід фільтрату до

75%) та отримуємо характеристику (рис. 1.9) при робочому тиску у 10.4 бар. Кожен блок мембран знаходиться в мембранотримачах і є єдиною конструкцією.

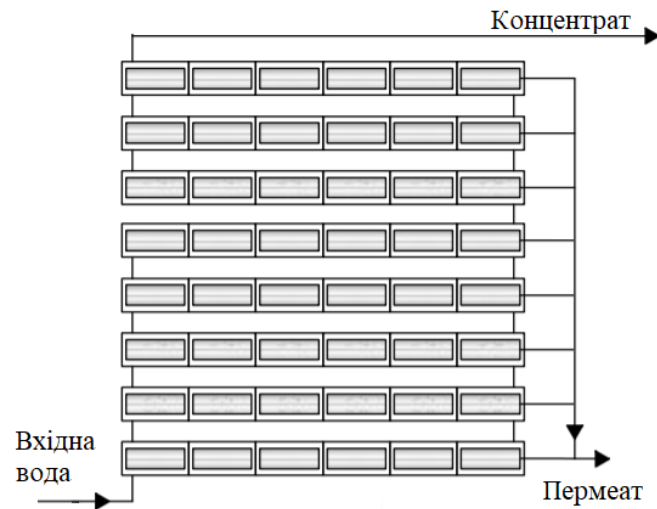


Рисунок 1.8 – Схема з'єднань мембранных елементів

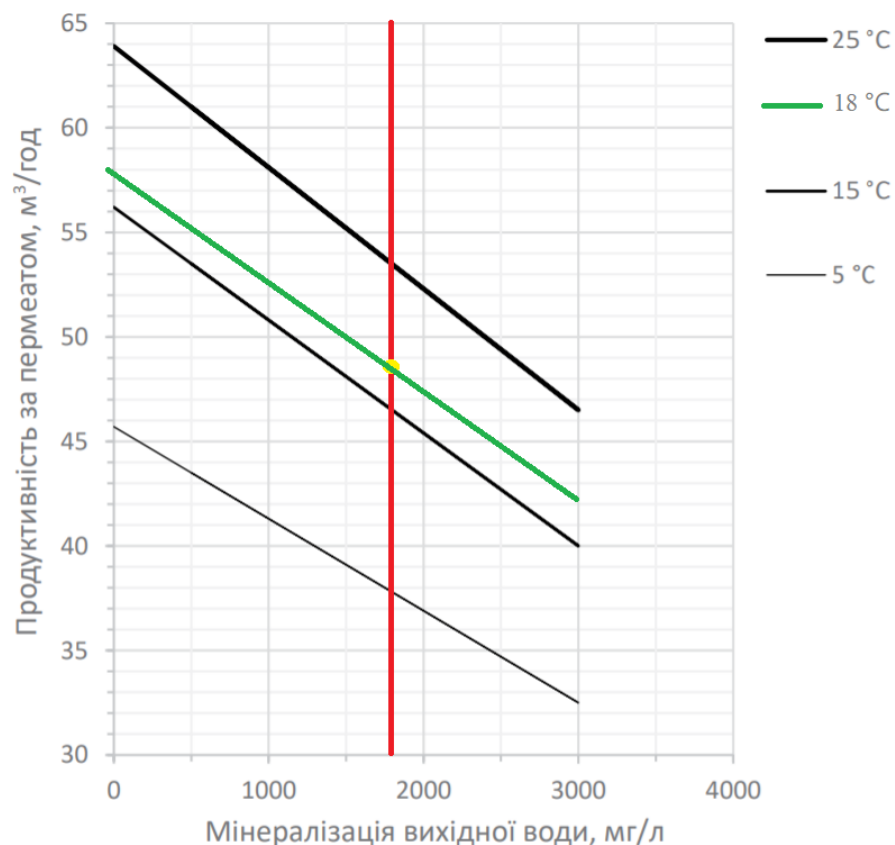


Рисунок 1.9 – Продуктивність установки зворотнього осмосу

Для знаходження продуктивності установки при температурі 18°C та мінералізації 1800 мг/л проведемо інтерполяцію відомих значень продуктивності

при цій мінералізації з рис. 2.5 при 25°C (53,4 м³/год) та 15 °C (46,6 м³/год).

Продуктивність установки знаходимо за формулою лінійної інтерполяції:

$$Q_{ti} = Q_{t1} + \frac{t_i - t_1}{t_2 - t_1} \cdot (Q_{t2} - Q_{t1}); \quad (1.2)$$

$$Q_{18^\circ\text{C}} = 46,6 + \frac{18 - 15}{25 - 15} \cdot (53,4 - 46,6) = 48,64 \text{ м}^3/\text{год};$$

Оскільки задана продуктивність відповідає розрахованій, то мембранний фільтр обрано вірно.

Розрахуємо вихідну мінералізацію (солоність) опрісненої води за формулою:

$$C_\phi = C_{\text{вх}} \cdot (1 - R) \cdot (1 - a)^{-R}; \quad (1.3)$$

де C_ϕ – вихідна мінералізація пермеата, мг/л;

$C_{\text{вх}}$ – вхідна солоність води, в нашому випадку 1800 мг/л;

R – селективність мембрани, в нашому випадку 0,99;

a – вихід пермеата, для даних умов - 0,75.

$$C_\phi = 1800 \cdot (1 - 0,99) \cdot (1 - 0,75)^{-0,99} = 67,79 \text{ мг/л};$$

Даний показник відповідає вимогам до питної води (ДСанПіН 2.2.4-171-10) згідно якого питною водою вважається вода з показником мінералізації 1000 мг/л, а оптимальним значенням є 200-500 мг/л.

Визначимо вхідну подачу до мембранних елементів за формулою:

$$Q_{\text{вх}} = \frac{Q_{18^\circ\text{C}}}{a} = \frac{48,64}{0,75} = 64,85 \text{ м}^3/\text{год}; \quad (1.4)$$

Визначимо осмотичний тиск вхідної в мембрани воли, враховуючи що значну його складову створює розчинений натрій хлорид:

$$P = i \cdot \frac{w}{M} \cdot R \cdot T = 2 \cdot \frac{1,8 \cdot 1000}{23 + 35,5} \cdot 8,314 \cdot (273 + 18) = 148884 \text{ Па}; \quad (1.5)$$

де i — ізотонічний коефіцієнт; M — молярна маса, г/моль; w — мінералізація, г/м³; R — газова стала; T — температура, °К.

Для якісного опріснення вхідна вода (табл 1.1) в установку має відповідати певним вимогам (табл 1.4). Аналізуючи дані таблиці, робимо висновок, що

					2410 ДП.ОА-71-02 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

вхідна вода не відповідає вимогам по індексу густини мулу SDI (7,5 проти допустимих 5). Задля зменшення цього індексу до допустимого встановлюємо механічні фільтри.

Таблиця 1.4 –Вимоги до вхідної води установки

Загальна мінералізація	<3000 мг/л
Жорсткість, CaCO ₃	<150 мг/л
Залізо, Fe	<0,1 мг/л
Марганець, Mn	<0,05 мг/л
Сірководень, HS	відсутній
Кремній, Si	<20 мг/л
Хлор, Cl	<0,1 мг/л
SDI	<5 в.о.

Враховуючи, що вода в установку підкачується з тиском 2 бар, та максимальну вхідну подачу в 80 м³/год. Обираємо картриджний мультипатронний фільтр очистки води PURO CFH 15x40 продуктивністю 40 м³/год в кількості 2 шт, які з'єднуємо паралельно для отримання потрібної максимальної подачі. Фільтр очищує воду від механічних домішок – піску, мулу, іржі.

1.4 Визначення потужності , вибір та побудова характеристики насосного агрегату

1.4.1 Принцип роботи відцентрового насоса

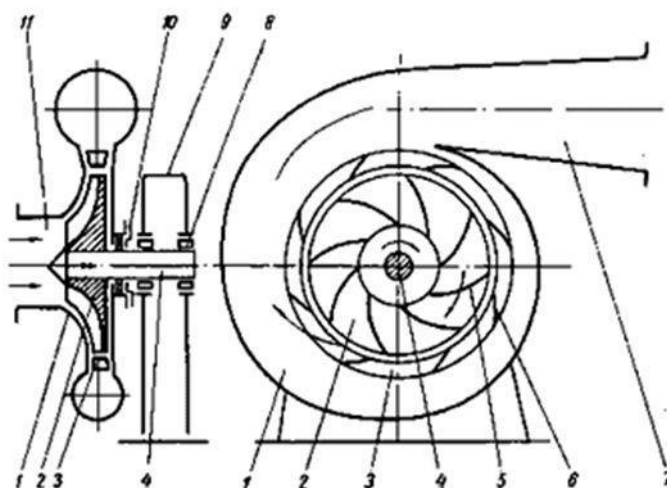
Центральним механізмом установки опріснювальної установки є відцентровий багатоступінчатий насос високого тиску (рис. 1.10). Принцип роботи відцентрового агрегату цілком відповідає його назві. Коли корпус помпи заповнюється рідиною, через всмоктуючий патрубок починає обертання колесо-крильчатка, створюючи відцентрову силу, відштовхуючу рідину від центру колеса на периферію. Тут виникає зона підвищеного тиску, що виштовхує рідину в напірну трубу.

У спіральному корпусі насоса поміщається робоче колесо з лопатками. При обертанні колеса двигуном рідина, яка надходить до центру колеса із

					2410 ДП.ОА-71-02 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

забірною резервуара через всмоктуючий трубопровід і відкриту засувку, відцентровою силою викидається по лопатках на периферію корпусу. В результаті в центрі робочого колеса створюється розрядження, рідина засмоктується в насос, знову викидається і далі подається в напірний трубопровід. Таким чином, в системі при відкритій засувці створюється безперервний перебіг, і відцентровий насос має рівномірний хід.

Перед пуском відцентровий насос потрібно заповнити рідиною. Насос може перебувати як нижче, так і вище рівня рідини. Якщо він розташований нижче рівня, то для його заливки досить відкрити вентиль засувки.



1 - робоча камера; 2 - робоче колесо; 3 - направляючий апарат; 4 - вал; 5 - лопатка робочого колеса; 6 - лопатка направляючого апарата; 7 - нагнітальний патрубок; 8 - підшипник; 9 - корпус насоса (опорна стійка); 10 - гідравлічне торцеве ущільнення вала (сальник); 11 - всмоктуючий патрубок.

Рисунок 1.10 - Принципова схема відцентрового насоса

На робочому колесі є лопатки (лопаті), які мають складну форму. Рідина підходить до робочого колеса уздовж осі його обертання, потім прямує в канал і потрапляє в відведення. Відведення призначений для збору рідини, що виходить з робочого колеса, і перетворення кінетичної енергії потоку рідини в потенційну енергію, зокрема в енергію тиску. Зазначене вище перетворення енергії має

					2410 ДП.ОА-71-02 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

відбуватися з мінімальними гідравлічними втратами, що досягається спеціальною формою відведення.

1.4.1 Вибір насосу високого тиску

Для роботи мембранного елемента необхідно забезпечити необхідну вхідну подачу $Q_{\text{вх}} = 64,85 \text{ м}^3/\text{год}$ та робочий тиск установки (10,4 бар). Також враховуємо особливості технологічного процесу: на вхід установки вода подається під тиском 2 бар а вся очищена вода зливається в бак після якого вона подається безпосередньо до будинку за допомогою насосної станції. Враховуючи це знаходимо статичний напір системи, як різницю між рівнем води у баку, та рівень води забору води насосом високого тиску ($H_{\text{ст}} = 2 \text{ м}$).

За відповідною вхідною подачею ($Q_{\text{вх}} = 64.85 \text{ м}^3/\text{год}$) та робочим тиском ($H = 84 \text{ м}$) обираємо відцентровий багатоступеневий насос високого тиску Grundfos CR 64-4-1 A-F-A-V-HQQV паспортні данні якого наведені в табл 1.5 для робочої точки, габаритні розміри на рис. 1.11.

Слід зауважити, що вода може подаватись в насос під тиском до 5 бар, так як в такому випадку характеристика насоса підніметься на дану величину і є ризик перевищення механічно допустимого тиску в 16 бар.

Таблиця 1.5 – Паспортні дані CR 64-4-1

Назва	CR 64-4-1
Номінальна частота обертання валу	2947
Номінальні витрати, $\text{м}^3/\text{год}$	64
Номінальний напір, м	83.9
Максимальний напір	109.3
Ступені	4
Діаметр всмоктуючого патрубку	DN100
Діаметр напірного патрубку	DN100
Номінальна потужність P_2 , кВт	22

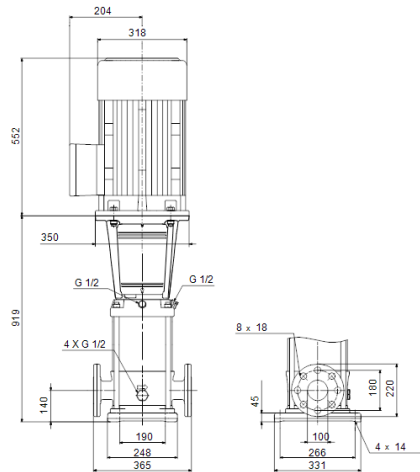


Рисунок 1.11 – Габаритні розміри насосу CR 64-4-1



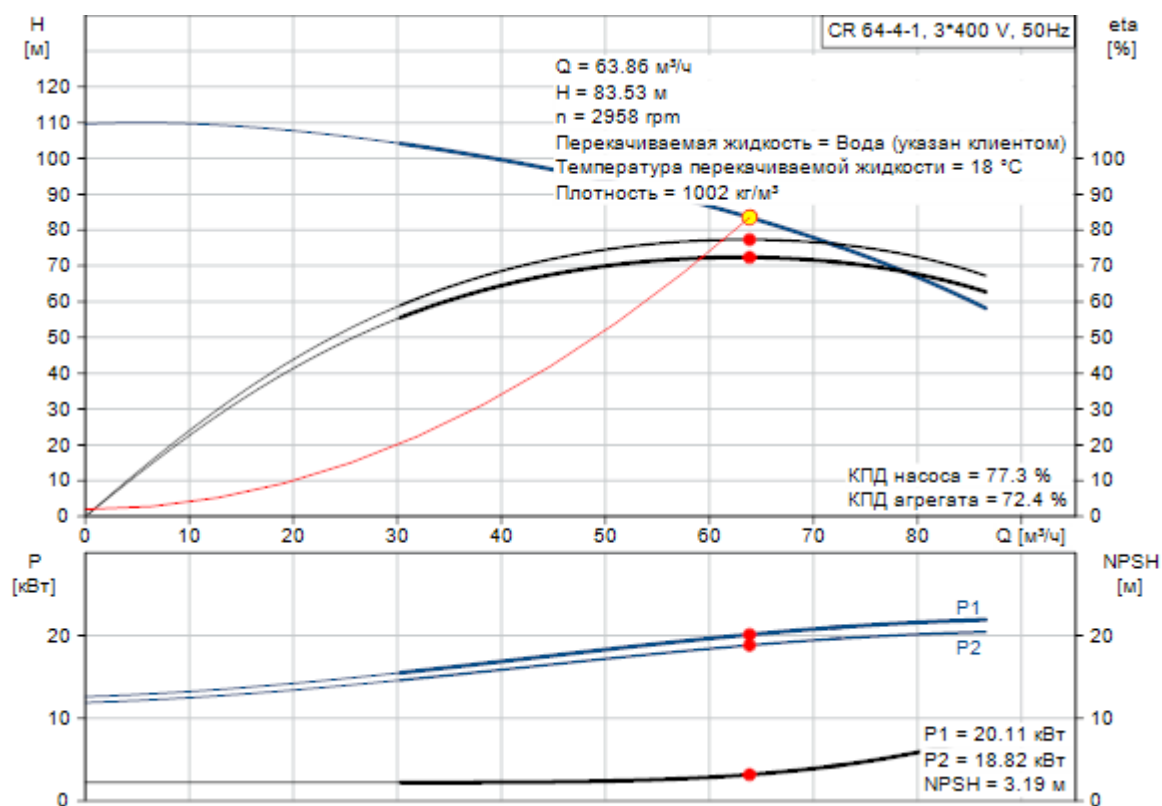
Рисунок 1.12 – Зовнішній вигляд насосу високого тиску

Вертикальний багатоступінчастий відцентровий насос з всмоктуючим і напірним патрубками, розташованими на одному рівні ("ін-лайн"), що забезпечує можливість установки в горизонтальній однотрубній системі. Головна частина і основа насоса з чавуну - всі інші контактують з рідиною, що перекачується деталі з нержавіючої сталі. Картриджні ущільнення вала забезпечує високу надійність, безпечне використання і легкий доступ для обслуговування. Обертання передається через роз'ємну муфту. З'єднання трубопроводу виконується за допомогою комбінованих фланців стандартів DIN-118. Насос оснащений асинхронним 3-фазним електродвигуном на лапах, з повітряним охолодженням

Будуємо характеристику мережі та напірну характеристику насоса (рис

					2410 ДП.ОА-71-02 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

1.13) за допомогою додатку, що надається на сайті виробника задаючи параметри рідини, потрібний напір, подачу та статичний підпір системи при напрузі живлення 400 В та частоті 50 Гц.



$H[\text{бар}]$ – напір, $Q[\text{м}^3/\text{год}]$ – подача, η [%] – ККД, $P1[\text{кВт}]$ – потужність живлення насосу, $P2[\text{кВт}]$ – потужність на валу двигуна, $NPSH [\text{бар}]$ – підпір системи.

Рисунок 1.13 – Характеристики насосу CR 64-4-1

2. Електропостачання

2.1 Характеристика умов проектування та розподілу електроенергії

Джерелом електропостачання для Керченської насосної станції є підстанції «Титан» та «Джанкой». Розподіл електроенергії виконується за магістральною схемою. Підприємство працює без вихідних, цілодобово та без зупинок, адже наявні резервні насоси. Тому кількість годин роботи максимум – 6500 годин.

Для експлуатації НС та опріснюючих установок зворотнього осмосу використовують транзит повітряними лініями з живленням від ліній 35 кВ двох незалежних джерел. Двотрансформаторні підстанції застосовують при значному числі споживачів першої і другої категорії.

Передбачається роздільна робота трансформаторів для зменшення струмів КЗ. Електрозабезпечення родовища здійснюється від ТП (ТМ 1000 35/0,4) з'єднані через РНД-35/1000У1 і С-35М-630/10. Всі споживачі живляться напругою 0,4 кВ. Режим роботи нейтралі – ізольована.

Перелік та характеристики споживачів електроенергії підприємства наведені в табл. 2.1. Всі двигуни працюють в режимі S1, окрім двигунів АИРС80А4У2, що працюють в режимі S3.

Таблиця 2.1 – Перелік та характеристики споживачів електроенергії

№	Споживач	Електродвигун	P_n , кВт	n	K_{Π}	η_n	$\cos\varphi$
Секція (Майстерня) №1 ($U_n = 0,4$ кВ)							
1	Насоси опріснювальної установки GRUNDFOS CR 64-4-1 AFAVHQV	MG180MB	22	3	0,9	0,927	0,9
2	Засувки головних насосів 30Ч906БР РУ 10	АИРС80А4У2	1,3	2	0,5	0,69	0,83

					2410 ДП.ОА-71-02 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Електропостачання		
Розроб.		Горобець А.М.					
Перевір.		Мейта О.В.					
Реценз.							
Н. Контр.		Смоляр В.Г.					
Затверд.		Розен В.П.					
					Літ.	Арк.	Аркушів
						28	114
					«КПІ ім. Ігоря Сікорського» ІЕЕ		

Продовження таблиці 2.1

№	Споживач	Електродвигун	P_n , кВт	n	K_n	η_n	$\cos\varphi$
3	Головні насоси ЦНС 180-212	АИР315S4	160	2	0,9	0,953	0,89
4	Резервний насос ЦНС 180-85	АИР250M4	90	1	0,2	0,9	0,85
5	Прожекторне освітлення ПЗМ – 35А	-	0,5	4	0,9	0,8	1
6	Освітлення приміщення Б220-100	-	0,1	15	0,9	0,75	1
Секція (Майстерня) №2 ($U_H = 0,4$ кВ)							
7	Насоси опріснювальної установки GRUNDFOS CR 64-4-1 A-F-A-V-HQQV	MG180MB	22	3	0,9	0,927	0,9
8	Засувки головних насосів 30Ч906БР РУ 10	АИРС80А4У2	1,3	2	0,5	0,69	0,83
9	Головні насоси ЦНС 180-212	АИР315S4	160	2	0,9	0,953	0,89
10	Вакуумний насос GMVP 120/050	АИР80А2	1,5	1	0,9	0,82	0,85
11	Лебідка LTD6.3	А80В4	1,5	1	0,75	0,801	0,8
12	Освітлення приміщення Б220-100	-	0,1	15	0,9	0,75	1

2.2 Розрахунок освітлення

Ефективне освітлення підприємств поліпшує умови праці, сприяє підвищенню продуктивності праці і знижує травматизм. Найважливішими задачами при вирішенні проблеми освітлення підприємств, поряд з економічністю, є: створення необхідного рівня освітленості на робочих місцях відповідно до нормативних вимог, відсутність осліплюючої дії джерел світла, глибоких коливань світлового потоку і різких тіней; забезпечення нормального відтворення кольору об'єктів; використання мінімальної кількості освітлювальних установок; простота, компактність, надійність і мобільність установок.

Для розрахунку освітлення приміщень можуть використовуватись метод питомої потужності або метод коефіцієнта використання світлового потоку. Освітлення промислових майданчиків виконують за допомогою прожекторів

					2410 ДП.ОА-71-02 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

методом світлового потоку.

2.2.1 Розрахунок освітлення майстерні методом коефіцієнта використання світлового потоку

Вхідними умовами для розрахунку методом коефіцієнта світлового потоку є розміри майстерні - 15·9 м, та висота підвісу світильника $h = 2$ м.

Метод враховує не тільки потік, який падає на робочу поверхню безпосередньо від світильника, але й потік, відбитий від стін та стелі, за рахунок введення коефіцієнта використання освітлювальної установки. Останній залежить від кольору стін і стелі, розмірів приміщення.

Метод використовують для розрахунку освітлення приміщень, насосних, машинних камер, камер ЦПП, РПП та інших.

Приймаємо тип світильника і знаходимо світловий потік лампи $F_{\text{л}}$.

Тип світильника - «Астра-2»; Тип лампи – Б220-100 (розжарювання):

$P = 100$ Вт; $U = 220$ В; ККД – 75%; $\cos \varphi = 1$; $F_{\text{л}} = 1350$ лм

Розраховуємо показник приміщення:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{15 \cdot 9}{2 \cdot (15 + 9)} = 2,8125;$$

де: A і B - довжина та ширина освітлюваного приміщення, м; h - висота підвісу світильника над робочою поверхнею, м.

Розраховуємо площу приміщення, враховуючи його прямокутну форму:

$$S = A \cdot B = 15 \cdot 9 = 135 \text{ м}^2;$$

Мінімальна освітленість по нормах приймається в залежності від умов проектування. Для приміщення ремонтно-механічних майстерень:

$$E_{\text{min}} = 35 \text{ лк};$$

Коефіцієнт використання при індексі приміщення $i = 2,8125$ (округлюємо до меншого значення 2,5) для сірого кольору стелі та темного кольору стін визначаємо з довідкової літератури:

$$K_{\text{в}} = 0,43;$$

Розраховуємо загальний світловий потік, потрібний для забезпечення необхідної освітленості:

					2410 ДП.ОА-71-02 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

$$F = \frac{K_3 \cdot E_{\min} \cdot S \cdot z}{K_p} = \frac{1,4 \cdot 35 \cdot 135 \cdot 1,3}{0,43} = 19988,83 \text{ лм};$$

де K_3 - коефіцієнт запасу, який враховує старіння ламп та заповищеність їхніх ковпаків, $K_3 = 1,3 \dots 1,5$ для ламп розжарювання, $K_3 = 1,5 \dots 2,0$ для люмінесцентних ламп; z - коефіцієнт нерівномірності освітлення ($z = 1,3 \dots 1,4$).

Обчислюємо потрібну кількість ламп:

$$N = \frac{F}{F_{\text{л}}} = \frac{19988,83}{1350} = 14,81$$

Приймаємо $N = 15$ шт.

Для рівномірного освітлення приміщення розташуємо світильники так, що відстань між світильниками була однакою в ряду, а відстань між крайніми світильниками і стелею дорівнював половині відстані між світильниками. Розташовуємо 3 ряди по 5 світильників. Відстань між світильниками – 1 м.

2.2.2 Розрахунок прожекторного освітлення промислового майданчику

Вхідні умови: промисловий майданчик розміром 70·50.

При розрахунку прожекторного освітлення робочих поверхонь на відкритому просторі необхідно: визначити мінімальну освітленість за нормами; вибрати коефіцієнт запасу і тип прожектора; визначити кількість прожекторів; місце і висоту їхньої установки; сприятливий кут нахилу оптичної вісі прожекторів.

При розрахунку освітлення промислового майданчику НС освітлювану територію можна представити у вигляді прямокутника площею $S = A \cdot B$, м², де A та B – довжина та ширина кар'єру:

$$S = A \cdot B = 70 \cdot 50 = 3500 \text{ м}^2;$$

Мінімальна освітленість по нормах приймається в залежності від умов проектування і для даного промислового майданчику становить:

$$E_{\text{н}} = 0,5 \text{ лк};$$

Визначаємо світловий потік, необхідний для створення на площі необхідної освітленості $E_{\text{н}}$

					2410 ДП.ОА-71-02 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

$$\sum \Phi = E_n \cdot S \cdot Z \cdot k_z \cdot k_{BT} = 0,5 \cdot 3500 \cdot 2 \cdot 1,4 \cdot 1,2 = 5880 \text{ лм};$$

де $k_z = 1,2 \dots 1,5$ - коефіцієнт запасу, $k_{BT} = 1,15 \dots 1,5$ - коефіцієнт, що враховує втрати світла в залежності від конфігурації освітлюваної площі, $Z = 1 \dots 3$ - коефіцієнт нерівномірності освітлення.

Обираємо прожектор з параметрами, що вказані в табл 2.2.

Таблиця 2.2 – параметри прожектора

Тип прожектора	Тип лампи	Напруга, В	Потужність, Вт	Світловий потік, лм 10^3	Максимальна сила світла, кд 10^3	ККД %
ПЗМ – 35А	Г220 – 500	220	500	7,2	40	25

Визначаємо число прожекторів для освітлення даної площі:

$$N_{\text{пр}} = \frac{\sum \Phi}{\Phi_{\text{л}} \cdot \eta_{\text{пр}}} = \frac{5880}{7200 \cdot 0,25} = 3,266;$$

де $\eta_{\text{пр}}$ = ККД прожектора; $\Phi_{\text{л}}$ - світловий потік лампи прожектора, лм.

Приймаємо $N_{\text{пр}} = 4$ шт.

Визначаємо висоту встановлення прожектора на щоглі. За умовами обмеження осліплюючої дії висота установки прожекторів, м:

$$h \geq \sqrt{\frac{I_{\text{max}}}{300}} = \sqrt{\frac{40000}{300}} = 11,55 \text{ м};$$

де I_{max} - осьова сила світла прожектора.

Необхідну на освітлення прожекторами потужність розраховуємо аналогічно точковому методу.

$$P_{\text{poi}} = N_{\text{пр}} \cdot P_{\text{л}} = 4 \cdot 500 = 2000 \text{ Вт}$$

де $N_{\text{пр}}$ – кількість прожекторів; $P_{\text{л}}$ - потужність прожекторів.

Обчислення сприятливого кута нахилу:

$E_0 = k_z \cdot E_n \cdot h^2$ - коли освітлювана ділянка перекривається світловою плямою одного прожектора, $E_0 = 1/2 \cdot k_z \cdot E_n \cdot h^2$ - коли світлові плями прожекторів

					2410 ДП.ОА-71-02 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

перекривають один одного:

$$E_0 = 1/2 \cdot k_3 \cdot E_n \cdot h^2 = 1,5 \cdot 0,5 \cdot 12^2 = 108$$

де E_n - нормована освітленість, k_3 - коефіцієнт запасу.

Кут нахилу прожектора значно впливає на освітленість, форму і площу світлової плями. Кут θ , при якому пляма, обмежена кривою з заданою освітленістю, має найбільшу площу, називається оптимальним:

$$\theta = \arcsin \sqrt{m + n \cdot E_0^{\frac{2}{3}}} = \arcsin \sqrt{0,03 + 0,01 \cdot 108^{\frac{2}{3}}} = 30,45^\circ;$$

де m , n - постійні коефіцієнти кутів розсіювання для даного прожектора.

2.3 Розрахунок електричних навантажень

Розрахунок навантажень методом коефіцієнта попиту проводиться від нижчих рівнів напруги до вищих, об'єднуючи електроприймачі у збірки (вузли).

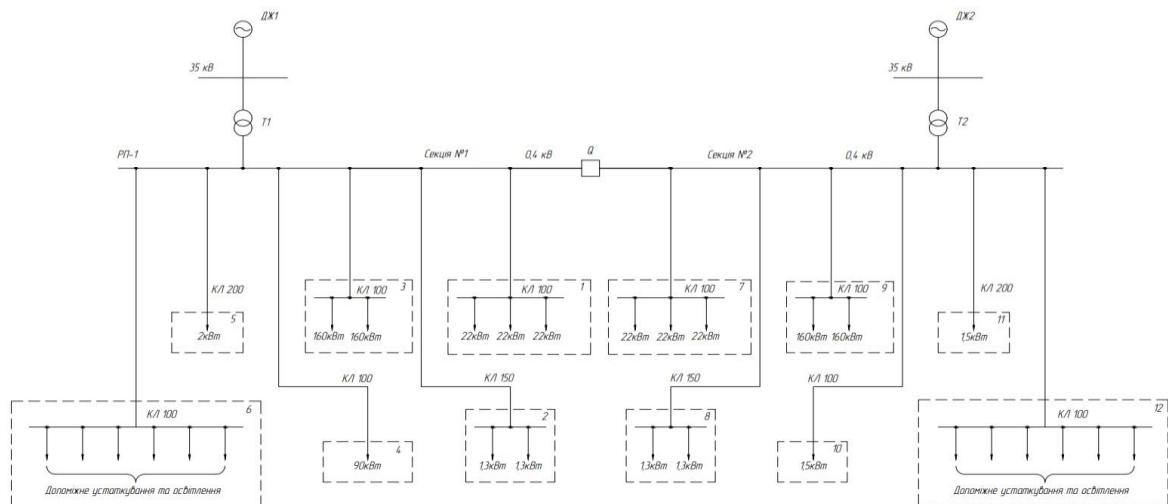


Рисунок 2.1 – Спрощена розрахункова схема електропостачання

За формулою (2.1) визначити розрахункове активне навантаження P_p для електроприймачів та сумарне активне навантаження на вузол РП-1. Результати заносимо до таблиці 2.3.

$$P_p = K_{\text{п}} \cdot \sum_{i=1}^n P_{\text{н.і.}} \quad (2.1)$$

$$P_{p1} = P_{p7} = 3 \cdot K_{\text{п1}} \cdot P_{\text{н1}} = 3 \cdot 0,9 \cdot 22 = 59,4 \text{ кВт};$$

$$P_{p2} = P_{p8} = 2 \cdot K_{\text{п2}} \cdot P_{\text{н2}} = 2 \cdot 0,5 \cdot 1,3 = 1,3 \text{ кВт};$$

					2410 ДП.ОА-71-02 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

$$P_{p3} = P_{p9} = 2 \cdot K_{п3} \cdot P_{н3} = 2 \cdot 0,9 \cdot 160 = 288 \text{ кВт};$$

$$P_{p6} = P_{p12} = K_{п6} \cdot \sum_{i=1}^{n=15} P_{н6} = 0,9 \cdot 1,5 = 1,35 \text{ кВт};$$

$$P_{Ррп-1} = \sum_{i=1}^n P_{н.i} = 2 \cdot 59,4 + 2 \cdot 1,3 + 2 \cdot 288 + 45 + 1,35 + 1,8 + 2 \cdot 1,35 + 1,125 = 749,375 \text{ кВт};$$

За формулою (2.2) обрахуємо коефіцієнт реактивної потужності кожного споживача:

$$\operatorname{tg} \varphi_{\text{н}} = \operatorname{tg}(\arccos(\cos \varphi_{\text{н}})) \quad (2.2)$$

$$\operatorname{tg} \varphi_{\text{н1}} = \operatorname{tg} \varphi_{\text{н7}} = \operatorname{tg}(\arccos(0,9)) = 0,4843;$$

$$\operatorname{tg} \varphi_{\text{н5}} = \operatorname{tg} \varphi_{\text{н6}} = \operatorname{tg} \varphi_{\text{н12}} = \operatorname{tg}(\arccos(1)) = 0;$$

За формулами (2.3) (для електродвигунів) та (2.4) визначаємо розрахункове реактивне навантаження Q_p для кожного електроприймача та сумарне реактивне навантаження на вузол РП-1:

$$Q_p = \sum_{i=1}^n \frac{P_{\text{нi}}}{\eta_{\text{нi}}} \operatorname{tg} \varphi_{\text{н}} \quad (2.3)$$

$$Q_p = P_p \cdot \tan \varphi_p \quad (2.4)$$

$$Q_{p1} = Q_{p7} = \sum_{i=1}^{n=3} \frac{P_{\text{н1}}}{\eta_{\text{н1}}} \operatorname{tg} \varphi_{\text{н1}} = \frac{3 \cdot 22}{0,927} \cdot 0,4843 = 34,482 \text{ кВАр};$$

$$Q_{p4} = P_{p4} \cdot \tan \varphi_{\text{н4.1}} = 45 \cdot 0,6197 = 27,888 \text{ кВАр};$$

$$Q_{p5} = Q_{p6} = Q_{p12} = 0 \text{ кВАр};$$

$$Q_{p4} = P_{p4} \cdot \tan \varphi_{\text{н4.1}} = 45 \cdot 0,6197 = 27,888 \text{ кВАр}; Q_{Ррп-1} = \sum_{i=1}^n Q_{\text{н.i}} = 2 \cdot 34,482 + 2 \cdot 2,532 + 2 \cdot 172,026 + 1,134 + 1,404 + 27,888 = 448,508 \text{ кВАр};$$

Визначаємо повне розрахункове навантаження S_p збірки РП-1:

$$S_p = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (2.5)$$

$$S_{p1} = S_{p7} = \sqrt{P_{p1}^2 + Q_{p1}^2} = \sqrt{59,4^2 + 34,482^2} = 68,683 \text{ кВА};$$

$$S_{p6} = S_{p12} = \sqrt{P_{p6}^2 + Q_{p6}^2} = \sqrt{1,35^2 + 0^2} = 1,35 \text{ кВА};$$

$$S_{Ррп-1} = \sqrt{P_{Ррп-1}^2 + Q_{Ррп-1}^2} = \sqrt{749,375^2 + 448,508^2} = 873,340 \text{ кВА};$$

					2410 ДП.ОА-71-02 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Таблиця 2.3 – Розрахунок електричних навантажень

Вхідні данні									Розрахунок			
№	Електро- приймачі	Тип машин	P_H , кВт	n	ΣP_H , кВт	K_{Π}	ККД, η_H	$\cos\varphi_H$	P_p , кВт	$\lg\varphi_H$	Q_p , кВАр	S_p , кВА
Підстанція №1 Трансформатор ТМ-1000/35/0,4												
Секція (Майстерня) №1												
1	Насоси опріснювальної установки	MG180MB	22	3	66	0,9	0,927	0,9	59,4	0,4843	34,482	68,683
2	Засувки головних насосів	АИРС80А4	1,3	2	2,6	0,5	0,69	0,83	1,3	0,672	2,532	2,846
3	Головні насоси	АИР315S4	160	2	320	0,9	0,953	0,89	288	0,5123	172,026	335,465
4	Резервний насос	АИР250М4	90	1	90	0,5	0,9	0,85	45	0,6197	27,888	52,941
5	Прожекторне освітлення	-	0,5	4	2	0,9	0,8	1	1,8	0	0	1,8
6	Освітлення приміщення	-	0,1	15	1,5	0,9	0,75	1	1,35	0	0	1,35
Секція (Майстерня) №2												
7	Насоси опріснювальної установки	MG180MB	22	3	66	0,9	0,927	0,9	59,4	0,4843	34,482	68,683
8	Засувки головних насосів	АИРС80А4	1,3	2	2,6	0,5	0,69	0,83	1,3	0,672	2,532	2,846
9	Головні насоси	АИР315S4	160	2	320	0,9	0,953	0,89	288	0,5123	172,026	335,465
10	Вакуумний насос	АИР80А2	1,5	1	1,5	0,9	0,82	0,85	1,35	0,6197	1,134	1,763
11	Лебідка LTD6.3	A80B4	1,5	1	1,5	0,75	0,801	0,8	1,125	0,75	1,404	1,80
12	Освітлення приміщення	-	0,1	15	1,5	0,9	0,75	1	1,35	0	0	1,35
Разом									749,375	-	448,508	873,340

Обираємо трансформатори Т1, Т2 згідно заданої потужності, враховуючи що трансформатор може працювати при навантаженні до 30% більше номінального, $U_{\text{номВН}} = 35$ кВт, а $U_{\text{номНН}} = 0,4$ кВ;

Таблиця 2.4 – Параметри трансформатора для шини РП-1

Тип	Номінальна потужність, $S_{\text{ном}}$, кВА	Номінальні напруги, кВ		Втрати потужності XX, P_x , кВт	Втрати потужності КЗ, P_k , кВт	Струм XX I_x , %	Напруга КЗ, U_k %
		ВН (Y)	НН (Δ)				
ТМ- 1000/35	1000	35	0,4	2	10,9	1,4	6,5

Розрахунок втрат активної та реактивної потужності в трансформаторах Т1, Т2:

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot S_{\text{ном.Т}} = 0,02 \cdot 1000 = 20 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot S_{\text{ном.Т}} = 0,1 \cdot 1000 = 100 \text{ кВАр};$$

2.4 Розрахунок електричних мереж

При проектуванні системи живлення і розподілу електроенергії зазвичай виконують електричні і механічні розрахунки ліній електропередач.

Повітряні ЛЕП напругою до 1000 В розраховують за втратами напруги і перевіряють за умовами нагрівання та економічній щільності струму при тривалості використання максимуму навантаження понад 4000...5000 г/рік.

Переносні кабельні лінії вибирають за нагріванням і перевіряють на термічну стійкість струмам КЗ і за втратами напруги.

Кабельні лінії напругою до 1000 В вибирають аналогічно повітряним на цю ж напругу.

2.4.1 Розрахунок струмів навантаження групи електроприймачів

При виборі перетинів проводів і жил кабелів розрахунковий струм навантаження групи електроприймачів визначається так:

$$I_P = \frac{S_P}{\sqrt{3} \cdot U_H} \quad (2.7)$$

$$I_{P4} = \frac{S_{P5}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{1,8}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 2,598 \text{ А};$$

$$I_{P6} = I_{P12} = \frac{S_{P6}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{1,35}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 1,949 \text{ А};$$

де S_P – розрахункове навантаження групи споживачів, кВА; U_H – напруга мережі, кВ.

Розрахунковий струм двигуна (груп двигунів) визначається по його номінальній потужності:

$$I_P = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \eta_H \cdot \cos \varphi_H} \quad (2.8)$$

де η_H – ККД двигуна при номінальному навантаженні; $\cos \varphi_H$ –

					2410 ДП.ОА-71-02 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

номінальний коефіцієнт потужності.

$$I_{P1} = I_{P7} = \frac{3 \cdot P_{H1}}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \eta_{H1} \cdot \cos \varphi_{H1}} = 3 \cdot \frac{22}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,927 \cdot 0,9} = 114,183 \text{ A};$$

Аналогічно розраховуємо решту електроприймачів та заносимо дані в табл. 2.5 та табл 2.6.

Таблиця 2.5 – Дані параметри для розрахунку секції №1

Споживач	№ лінії	Довжина лінії, м	Тип лінії	Потужність, що передається лінією, кВт	cosφ	ККД	Розрахунковий робочий струм лінії I _p , А
РП-1							
Споживачі низької напруги (0,4 кВ)							
Насоси опріснювальної установки	1	100	КЛ	59,4	0,9	0,927	114,183
Засувки головних насосів	2	150	КЛ	1,3	0,83	0,69	6,553
Головні насоси	3	100	КЛ	288	0,89	0,953	544,561
Резервний насос	4	100	КЛ	45	0,85	0,9	169,809
Прожекторне освітлення	5	200	КЛ	1,35	0,85	0,82	2,598
Освітлення приміщення	6	100	КЛ	1,8	1	0,8	1,949

Таблиця 2.6 – Дані параметри для розрахунку секції №2

Споживач	№ лінії	Довжина лінії, м	Тип лінії	Потужність, що передається лінією, кВт	cosφ	ККД	Розрахунковий робочий струм лінії I _p , А
РП-1							
Споживачі низької напруги (0,4 кВ)							
Насоси опріснювальної установки	7	100	КЛ	1,35	1	0,75	114,183
Засувки головних насосів	8	150	КЛ	59,4	0,9	0,927	6,553
Головні насоси	9	100	КЛ	1,3	0,83	0,69	544,561
Вакуумний насос	10	100	КЛ	288	0,89	0,953	3,106
Лебідка LTD6.3	11	200	КЛ	1,125	0,8	0,801	3,379
Освітлення приміщення	12	100	КЛ	1,35	1	0,75	1,949

2.4.2 Вибір перетину провідників і жил кабелів за нагрівом

Вибір перерізу проводів повітряних ліній та жил кабелів за нагрівом розрахунковим (робочим) струмом в нормальному тривалому режимі роботи полягає в порівнянні розрахункового струму і-ї лінії з допустимим струмом, для якого ПУЕ рекомендує стандартні значення перерізів проводів КЛ та жил

кабелів, за умови

$$I_p \leq I_{\text{доп}} \quad (2.9)$$

де I_p - розрахунковий (або робочий) струм i -ї лінії, А;

$I_{\text{доп}}$ - тривало-допустимі струми для стандартного ряду перерізів провідника ліній.

Обираємо чотирьохжильні кабелі з алюмінієвими жилами з пластмасовою ізоляцією у ПВХ оболонці прокладені в повітрі:

$$L_1, L_7: I_{p1} = 114,183 \text{ А}; I_{\text{доп}1} = 136 \text{ А}; S_{\text{нагр}1} = 50 \text{ мм}^2; \text{АВВГ } 3 \times 50 + 1 \times 25$$

$$L_2, L_8: I_{p2} = 6,553 \text{ А}; I_{\text{доп}2} = 19 \text{ А}; S_{\text{нагр}2} = 2,5 \text{ мм}^2; \text{АВВГ } 4 \times 2,5$$

$$L_3, L_9: I_{p3} = 544,561 \text{ А}; I_{\text{доп}3} = 2 \cdot 273 = 546 \text{ А}$$

$$S_{\text{нагр}3} = 2 \cdot 150 = 300 \text{ мм}^2; 2 \text{ кабелі АВВГ } 3 \times 150 + 1 \times 50$$

$$L_4: I_{p4} = 169,809 \text{ А}; I_{\text{доп}4} = 204 \text{ А}; S_{\text{нагр}4} = 95 \text{ мм}^2; \text{АВВГ } 3 \times 95 + 1 \times 50$$

$$L_5: I_{p5} = 2,598 \text{ А}; I_{\text{доп}5} = 19 \text{ А}; S_{\text{нагр}5} = 2,5 \text{ мм}^2; \text{АВВГ } 4 \times 2,5$$

$$L_6, L_{12}: I_{p6} = 1,949 \text{ А}; I_{\text{доп}6} = 15 \text{ А}; S_{\text{нагр}6} = 1 \text{ мм}^2; \text{ВВГ } 4 \times 1$$

$$L_{10}: I_{p10} = 3,106 \text{ А}; I_{\text{доп}10} = 19 \text{ А}; S_{\text{нагр}10} = 2,5 \text{ мм}^2; \text{АВВГ } 4 \times 2,5$$

$$L_{11}: I_{p11} = 3,379 \text{ А}; I_{\text{доп}11} = 22 \text{ А}; S_{\text{нагр}11} = 1,5 \text{ мм}^2; \text{КГНВ } 4 \times 1,5$$

2.4.3 Розрахунок електричної мережі за економічною густиною струму

Величина економічного перерізу визначається розрахунковим струмом i -ї лінії та економічною густиною струму. Для підприємств даного комплексу $T_M = 6500$ год/рік. Економічна густина струму $J_{\text{ЕК}}$ (А/мм²) при (год/рік) для кабелів з гумовою та пластмасовою ізоляцією: алюмінієві – 1,6 А/мм²; мідні – 2,7 А/мм²;

Розраховуємо переріз провідників:

$$S'_{\text{ЕК}} = \frac{I_p}{J_{\text{ЕК}}} \quad (2.10)$$

де I_p - розрахунковий струм, А; $j_{\text{ЕК}}$ - економічна густина струму, А/мм²

Метод поширений завдяки своїй простоті і дозволяє приблизно оцінити економічну доцільність, оскільки не враховує ціну електроенергії. У випадку пошуку економічних резервів мережі застосовуються більш точні розрахунки.

Для ізольованих проводів з перерізом жил більш 16 мм², рекомендується

					2410 ДП.ОА-71-02 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

збільшувати економічну густину струму на 40% (лінії 1, 3, 4, 7, 9).

$$S'_{ек1} = S'_{ек7} = \frac{114,183}{1,6 \cdot 1,4} = 50,975 \text{ мм}^2; S_{ек1} = S_{ек7} = 50 \text{ мм}^2;$$

$$S'_{ек2} = S'_{ек8} = \frac{6,553}{1,6} = 4,095 \text{ мм}^2; S_{ек2} = S_{ек8} = 4 \text{ мм}^2;$$

$$S'_{ек6} = S'_{ек12} = \frac{1,949}{2,7} = 0,722 \text{ мм}^2; S_{ек6} = S_{ек12} = 0,5 \text{ мм}^2;$$

2.4.4 Вибір ліній мережі за умови механічної міцності

В практиці проектування електропостачання промислових підприємств переріз проводів ПЛ та КЛ вибирають за даними мінімально допустимих перерізів чи механічною міцністю згідно ПУЕ [2], мінімальні допустимі перерізи проводів ПЛ та жил КЛ за умови механічної міцності кабельних ліній для силових та освітлювальних мереж: алюміній: $S_{мех} = 2,5 \text{ мм}^2$; мідь: $S_{мех} = 1,5 \text{ мм}^2$.

2.4.5 Розрахунок електричної мережі за допустимими втратами напруги

Електрична мережа підприємства повинна бути вибрана та перевірена на припустиму втрату напруги [4]. Для низьковольтних електроприймачів (до 1 кВ) – втрати напруги у вольтах.

Ділянка мережі низької напруги складається з трансформаторної підстанції та кабелів, які з'єднують трансформатор та електроприймач. Величину втрат напруги для мережі до 1 кВ приймають рівною 39В- відповідно при U_H мережі 380В.

$$\Delta U_{доп} = 39 \text{ В};$$

Втрати напруги в низьковольтній мережі – це сума втрат напруги в усіх її елементах, яка не повинна перевищувати нормоване значення. При необхідності збільшують переріз кабелів.

Розрахунок втрат напруги в трансформаторі [%] проводиться за формулою:

$$\Delta U_{ТР\%} = \beta(U_{a\%} \cos \varphi_{ТР} + U_{p\%} \sin \varphi_{ТР})$$

де ΔP_K - втрати КЗ трансформатора, Вт;

					2410 ДП.ОА-71-02 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

$S_{H.T}$ - номінальна потужність трансформатора, кВА;

Реактивна складова напруги КЗ трансформатора:

$$U_{p\%} = \sqrt{(U_{k\%})^2 - (U_{a\%})^2} = \sqrt{6,9^2 - 1,09^2} = 6,591 \%;$$

Коефіцієнт завантаження трансформатора:

$$\beta = \frac{S_p}{S_{H.T.}} = \frac{873,340}{1000} = 0,8733;$$

Активна складова напруги КЗ трансформатора:

$$U_{a\%} = \frac{\Delta P_K}{10 \cdot S_{H.T.}} = \frac{10900}{10 \cdot 1000} = 1,09 \%;$$

Враховуючи можливість регулювання напруги на виході трансформатора за рахунок переключення відпайок обмотки первинної напруги абсолютне значення втрат напруги в трансформаторі, В:

$$\Delta U_{TP} = \Delta U_{TP\%} \cdot K_0 \cdot \frac{U_0}{100}$$

де K_0 – коефіцієнт зміни напруги в трансформаторі, що дорівнює 0,95, 1,0 та 1,05 при відпайках +5%, 0, -5%. U_0 – вторинна напруга холостого ходу трансформатора.

Розраховуємо втрати напруги для трансформатора ТМ-1000/35:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{749,375}{873,340} = 0,8581;$$

$$\sin \varphi = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi} = \sqrt{1 - 0,8581^2} = 0,5136;$$

$$\begin{aligned} \Delta U_{TP\%} &= \beta \cdot (U_{a\%} \cdot \cos \varphi + U_{p\%} \cdot \sin \varphi) = \\ &= 0,873 \cdot (1,09 \cdot 0,8581 + 6,591 \cdot 0,5136) = 3,773 \% \end{aligned}$$

$$\Delta U_{TP} = \Delta U_{TP\%} \cdot K_0 \cdot \frac{U_0}{100} = 3,773 \cdot 1 \cdot \frac{400}{100} = 15,091 \text{ В};$$

Тоді допустимі втрати напруги в кабелі:

$$\Delta U_{МК} = \Delta U_{доп} - \Delta U_{TP} = 39 - 15,091 = 23,909 \text{ В};$$

Розрахунок втрат напруги в кабелі [В] проводиться за формулою:

$$\Delta U_{M.K.} = \frac{P_H \cdot L_{M.K.} \cdot 10^3}{\gamma \cdot S_{M.K.} \cdot U_H \cdot \eta_H}$$

					2410 ДП.ОА-71-02 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

$$\Delta U_{\text{м.к1}} = \Delta U_{\text{м.к7}} = \frac{P_{\text{н1}} \cdot L_{\text{м.к1}} \cdot 10^3}{\gamma \cdot S_{\text{м.к1}} \cdot U_{\text{н}} \cdot \eta} = \frac{66 \cdot 100 \cdot 10^3}{32 \cdot 50 \cdot 380 \cdot 0,927} = 11,71 \text{ В};$$

$$\Delta U_{\text{м.к6}} = \Delta U_{\text{м.к12}} = \frac{P_{\text{н6}} \cdot L_{\text{м.к6}} \cdot 10^3}{\gamma \cdot S_{\text{м.к6}} \cdot U_{\text{н}} \cdot \eta} = \frac{1,5 \cdot 100 \cdot 10^3}{50 \cdot 1,5 \cdot 380 \cdot 0,75} = 7,018 \text{ В};$$

$P_{\text{н}}$ - потужність всіх електроприймачів, що живиться цим кабелем [кВт];

$L_{\text{м.к.}}$ - довжина кабелю [м];

$\gamma = 50$ [м/(Ом•мм²)] – питома провідність мідного кабелю ($\gamma=32$ для алюмінієвих жил);

$S_{\text{м.к.}}$ – найбільший переріз кабелю з попередніх перевірок [мм²];

$U_{\text{н}}$ - номінальна напруга мережі, для якої розраховуються втрати напруги [В];

$\eta_{\text{н}}$ - ККД електроприймача

2.4.6 Остаточний вибір перетинів проводів і жил кабелів

Розрахунок електричної розподільної мережі дільниці зводяться у таблицю 2.7, у якій приведяться основні розрахункові параметри елементів мережі, мінімальні значення перетинів провідників, обрані за різними умовами для кожної із ліній, марка остаточно обраного проводу або тип кабелів.

Таблиця 2.7 – Остаточний розрахунок мережі

№ лінії	Розрахунковий робочий струм $I_{\text{р}}$, А	За нагрівом		Мех. міцність $S_{\text{мех}}$, мм ²	За економічною густиною		За втратами напруги		Остаточна обрана марка
		$I_{\text{доп}}$, А	$S_{\text{нагр}}$, мм ²		$J_{\text{ек}}$, А/мм ²	$S_{\text{ек}}$, мм ²	Втрати напруги, В	$S_{\text{втр}}$ напруги мм ²	
1	114,183	136	50	2,5	2,24	50	11,710	50	АВВГ 3х50 + 1х25
2	6,553	19	2,5	2,5	1,6	4	11,620	4	АВВГ 4х4
3	544,561	546	300	2,5	2,24	240	9,205	300	2к. АВВГ 3х150 + 2х50
4	169,809	204	95	2,5	2,24	70	8,657	95	АВВГ 3х95 + 1х50
5	2,598	19	2,5	2,5	1,6	1,5	16,447	2,5	АВВГ 4х2,5
6	1,949	15	1	1,5	2,7	0,5	7,018	1,5	ВВГ 4х1,5
7	114,183	136	50	2,5	2,24	50	11,710	50	АВВГ 3х50 + 1х25

8	6,553	19	2,5	2,5	1,6	4	11,620	4	АВВГ 4х4
9	544,561	612	285	2,5	2,24	240	9,205	300	2к. АВВГ 3х150 + 2х50
10	3,106	19	2,5	2,5	1,6	1,5	6,017	2,5	АВВГ 4х2,5
11	3,379	22	1,5	1,5	2,7	1,20	13,141	1,5	КГНВ 4х1,5
12	1,949	15	1	1,5	2,7	0,5	7,018	1,5	ВВГ 4х1,5

2.5 Розрахунок струмів КЗ

При проектуванні СЕП враховуються не тільки нормальні, тривалі режими роботи ЕУ, але і їх аварійні режими. Одним з аварійних режимів є коротке замикання. КЗ називають всяке випадкове або навмисне, непередбачене нормальним режимом роботи, електричне з'єднання різних точок ЕУ між собою або землею, при якому струми в гілках ЕУ різко зростають, перевищуючи найбільший допустимий струм тривалого режиму. У системі трифазного змінного струму можуть виникати замикання між трьома фазами – трифазні КЗ, між двома фазами – двофазне КЗ. Найчастіше виникають однофазні КЗ.

Складаємо розрахункову схему заміщення (рис.2.2) на основі схеми підприємства. На схемі позначаємо характерні точки, для яких буде розраховано струми КЗ.

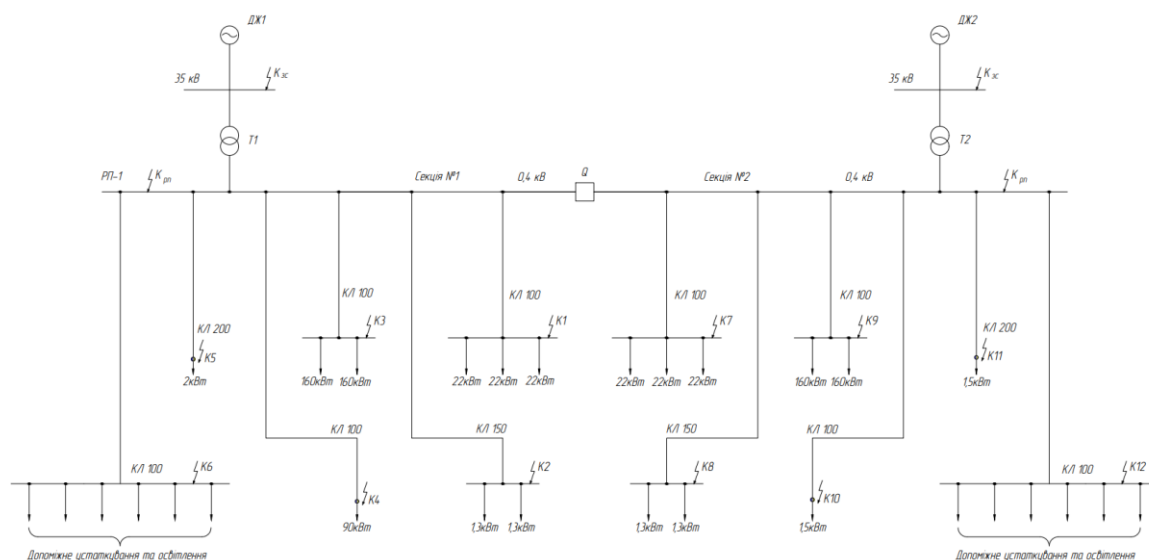


Рисунок 2.2. – Схема електропостачання

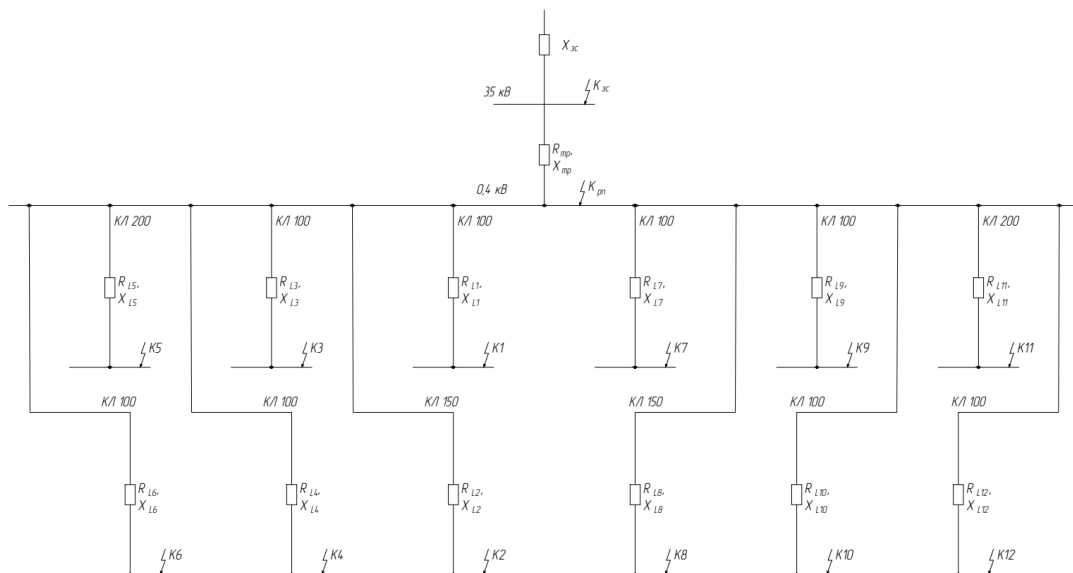


Рисунок 2.3. – Схема заміщення для розрахунку точок КЗ

2.5.1 Розрахунок струмів КЗ в мережах напруги до 1000 В

При розрахунку струмів КЗ визначаються величини:

i_y - миттєве значення ударного струму КЗ для перевірки електричних апаратів на u динамічну стійкість;

I_y - найбільше діюче значення повного струму КЗ для перевірки електричних апаратів на U динамічну стійкість на протязі першого періоду КЗ;

S_t - потужність КЗ для довільного моменту часу для перевірки вимикача за відключаючою ним потужністю.

Особливістю розрахунку струмів КЗ. в мережах напругою до 1000 В є необхідність врахування опору всіх елементів схеми (трансформаторів струму, шин, котушок розчеплювачів автоматів, контактних з'єднань апаратів та ін.), врахування активної і реактивної складової опору. Струми КЗ. розраховують в іменованих одиницях.

Величина активного опору лінії визначається в залежності від перерізу ($R = r_0 \cdot L = \frac{1000}{\gamma \cdot S} \cdot L$). Величина реактивного опору лінії визначається за питомим опором ($X = x_0 \cdot L$). Питомий індуктивний опір лінії може бути прийнято для кабельних ЛЕП напругою до 1 кВ - **0,07**; до 10 кВ - 0,08, Ом/км)

Трифазний струм КЗ:

					2410 ДП.ОА-71-02 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

$$I_K^{(3)} = \frac{U_{cp}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(\sum r)^2 + (\sum x)^2}} \quad (2.11)$$

де U_{cp} - середня номінальна напруга ступіні КЗ (690,400, 230,133 В)

$\sum r \cdot \sum x$ - сума активних і реактивних опорів до точки КЗ, включаючи трансформатор та опір зовнішньої системи, мОм.

Опір зовнішньої системи приведений до напруги споживачів 0,4 кВт:

$$X_{zc} = \frac{U_{c.H.}^2}{S_K^{(3)}} = \frac{400^2}{40 \cdot 10^6} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}; \quad (2.12)$$

де $S_K^{(3)}$ – потужність трифазного короткого замикання на шинах;

$U_{c.H.}^2$ – 230, 400, 690, 1200 В

Опір трансформатора

$$R_T = \Delta P_K / (3 \cdot I_{H.T.}^2);$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2};$$

$$Z_T = U_K \cdot U_{c.H.} / 100 \cdot \sqrt{3} \cdot I_{H.T.},$$

де: ΔP_K - втрати короткого замикання трансформатора, Вт; $I_{H.T.}$ - номінальний струм вторинної обмотки трансформатора. А; U_K - напруга короткого замикання трансформатора, %.

$$I_{H.T.} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 1443,376 \text{ А};$$

$$Z_{Tp} = \frac{U_k \cdot U_{CH}}{100 \cdot \sqrt{3} \cdot I_{H.T.}} = \frac{6,5 \cdot 400}{100 \cdot \sqrt{3} \cdot 1443,376} = 0,0104 \text{ Ом};$$

$$R_{Tp} = \frac{\Delta P_K}{3 \cdot I_{H.T.}^2} = \frac{10900}{3 \cdot 1443,376^2} = 0,001744 \text{ Ом};$$

$$X_{Tp} = \sqrt{Z_{Tp}^2 - R_{Tp}^2} = \sqrt{0,0104^2 - 0,001744^2} = 0,01025 \text{ Ом};$$

Активний опір кабельних ліній, що живить споживачів низької напруги (Ом) (довжину КЛ переводимо в кілометри):

$$R_{L1} = \frac{1000}{\gamma \cdot S_{м.к1}} \cdot L_1 = \frac{1000}{32 \cdot 50} \cdot 0,1 = 0,063 \text{ Ом};$$

					2410 ДП.ОА-71-02 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

$$R_{L12} = \frac{1000}{\gamma \cdot S_{\text{м.к12}}} \cdot L_{12} = \frac{1000}{50 \cdot 1,5} \cdot 0,1 = 1,333 \text{ Ом};$$

Реактивний опір кабельних ліній, що живить споживачів низької напруги $x_0=0,07 \text{ Ом/км}$ - реактивний опір КЛ, $U < 1 \text{ кВ}$ довжиною 1 км;

$$X_{L1} = x_0 \cdot L_1 = 0,07 \cdot 0,1 = 0,007 \text{ Ом};$$

$$X_{L12} = x_0 \cdot L_{12} = 0,07 \cdot 0,1 = 0,007 \text{ Ом};$$

Аналогічно розраховуємо решту опорів та заносимо значення до табл.2.8.

Таблиця 2.8 – Опори елементів мережі у іменованих одиницях

Елемент мережі	R, Ом	X, Ом
Джерело живлення	0	0,004
Трансформатори ТМ-630/35	0,001744	0,01025
L ₁	0,063	0,007
L ₂	1,172	0,0105
L ₃	0,010	0,007
L ₄	0,033	0,007
L ₅	2,500	0,014
L ₆	1,333	0,007
L ₇	0,063	0,007
L ₈	1,172	0,0105
L ₉	0,010	0,007
L ₁₀	1,250	0,007
L ₁₁	2,667	0,014

За розрахунковою схемою складають схему заміщення, де всі її елементи замінюють опорами.

Розрахуємо сумарний опір до кожної точки КЗ:

Точка К_{зс}: Опір складається лише з реактивного опору зовнішньої системи $X_{зс}$

$$Z_{Кзс} = X_{зс} = 0,004 \text{ Ом};$$

Точка К_{рп}: Опір складається з опорів зовнішньої системи $X_{зс}$ та трансформатора ТМ-1000/35:

$$\sum R_{Крп} = R_{Tp} = 0,001744 \text{ Ом};$$

$$\sum X_{Kpp} = X_{zc} + X_{Tp} = 0,004 + 0,01025 = 0,01425 \text{ Ом};$$

$$Z_{Kzc} = \sqrt{(\sum R_{Kpp})^2 + (\sum X_{Kpp})^2} = \sqrt{0,001744^2 + 0,01425^2} = 0,01436 \text{ Ом};$$

Точка К1: Складається з опорів зовнішньої системи X_{zc} , трансформатора ТМ-1000/35 та лінії:

$$\sum R_{K1} = R_{Tp} + R_{L1} = 0,001744 + 0,063 = 0,0642 \text{ Ом};$$

$$\sum X_{K1} = \sum X_{pp} + X_{L1} = 0,01425 + 0,007 = 0,02125 \text{ Ом};$$

$$Z_{K1} = \sqrt{(\sum R_{K1})^2 + (\sum X_{K1})^2} = \sqrt{0,0642^2 + 0,02125^2} = 0,06767 \text{ Ом};$$

Для точок К2 – К12 розрахунок аналогічний точці К1. Результати заносимо в табл. 2.9

Таблиця 2.9 – Опори до точок КЗ

Точка	$\sum R_K$	$\sum X_K$	Z_K
К _{zc}	0	0,004	0,004
К _{pp}	0,001744	0,01425	0,01436
К1	0,0642	0,021250	0,06767
К2	1,1736	0,024750	1,17388
К3	0,0122	0,021250	0,02448
К4	0,0346	0,021250	0,04064
К5	2,5017	0,028250	2,50190
К6	1,3351	0,021250	1,33525
К7	0,0642	0,021250	0,06767
К8	1,1736	0,024750	1,17388
К9	0,0122	0,021250	0,02448
К10	1,2517	0,021250	1,25192
К11	2,6684	0,028250	2,66856
К12	1,3351	0,021250	1,33525

Приклад розрахунку струмів КЗ для точки

а) діюче значення струму трифазного КЗ для і-ої точки ланцюга

$$I_{Kzc}^3 = \frac{U_{c.n.}}{\sqrt{3} \cdot Z_{Kzc}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 0,004} = 57,7350 \text{ кА};$$

б) струм двофазного короткого замикання

$$I_{Kpp}^2 = \frac{U_{c.n.}}{2 \cdot Z_{Kpp}} = \frac{400}{2 \cdot 0,01436} = 13,9285 \text{ кА};$$

в) миттєве значення ударного струму КЗ через півперіоду (0.01с) після

виникнення КЗ

$$i_y = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_K^3 + 6,5 \cdot \sum I_H; \quad (2.13)$$

де: k_y - ударний коефіцієнт; $k_y = 1,2 \dots 1,3$ при короткому замиканні на шинах підстанції, $k_y = 1,8$ при короткому замиканні зі сторони високої напруги, $k_y = 1$ при короткому замиканні у віддаленій точці; $\sum I_H$ - сума номінальних струмів асинхронних двигунів потужністю понад 100 кВт·А.

$$i_{yK3c} = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{K3c}^3 = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 57,7350 = 146,9694 \text{ кА};$$

$$i_{yKpp} = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{Kpp}^3 = 1,2 \cdot \sqrt{2} \cdot 16,0833 = 27,2942 \text{ кА};$$

$$i_{yK1} = i_{yK7} = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{K1}^3 = 1 \cdot \sqrt{2} \cdot 3,4129 = 4,8265 \text{ кА};$$

$$i_{yK3} = i_{yK9} = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{K3}^3 = 1 \cdot \sqrt{2} \cdot 9,4325 + 6,5 \cdot (288 + 288) = 17,0835 \text{ кА};$$

$$i_{yK4} = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{K4}^3 = 1 \cdot \sqrt{2} \cdot 5,6829 + 6,5 \cdot 166,5 = 9,1191 \text{ кА};$$

Решту струмів розраховуємо аналогічно до i_{yK1} .

г) діюче значення повного струму КЗ

$$I_{yK3c} = I_{K3c}^3 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (k_y - 1)^2} = 57,7350 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1,8 - 1)^2} = 87,178 \text{ кА};$$

$$I_{yKpp} = I_{Kpp}^3 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (k_y - 1)^2} = 16,0833 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1,2 - 1)^2} = 16,7142 \text{ кА};$$

$$I_{yK1} = I_{K1}^3 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (k_y - 1)^2} = 3,4129 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1 - 1)^2} = 3,4129 \text{ кА};$$

Аналогічно розраховуємо решту струмів короткого замикання та заносимо значення до табл. 2.10.

Таблиця 2.10 – Розрахунок струмів КЗ у іменованих одиницях

Точка КЗ	$U_{сн}, B$	R, Ом	X, Ом	Z, Ом	$I_K^{(3)}, \text{кА}$	$I_K^{(2)}, \text{кА}$	$i_y, \text{кА}$	$I_y, \text{кА}$
К _{зс}	400	0	0,004	0,004	57,7350	50	146,9694	87,178
К _{рп}	400	0,001744	0,01425	0,01436	16,0833	13,9285	27,2942	16,7142
К1	400	0,0642	0,021250	0,06767	3,4129	2,9556	4,8265	3,4129
К2	400	1,1736	0,024750	1,17388	0,1967	0,1704	0,2782	0,1967
К3	400	0,0122	0,021250	0,02448	9,4325	8,1687	17,0835	9,4325
К4	400	0,0346	0,021250	0,04064	5,6829	4,9216	9,1191	5,6829

Продовження таблиці 2.10

K5	400	2,5017	0,028250	2,50190	0,0923	0,0799	0,1305	0,0923
K6	400	1,3351	0,021250	1,33525	0,173	0,1498	0,2446	0,173
K7	400	0,0642	0,021250	0,06767	3,4129	2,9556	4,8265	3,4129
K8	400	1,1736	0,024750	1,17388	0,1967	0,1704	0,2782	0,1967
K9	400	0,0122	0,021250	0,02448	9,4325	8,1687	17,0835	9,4325
K10	400	1,2517	0,021250	1,25192	0,1845	0,1598	0,2609	0,1845
K11	400	2,667	0,0140	2,6684	0,02825	2,66856	0,1224	0,0749
K12	400	1,333	0,0070	1,3351	0,02125	1,33525	0,2446	0,1498

2.6 Вибір електричних апаратів

Всі апарати, шини на підстанціях і розподільних пунктах повинні бути обрані за умови тривалої роботи (за номінальним струмом та напругою) і перевірені для режиму КЗ на термічну та динамічну стійкість.

Для роз'єднувачів за номінальною напругою повинні виконуватись умови:

$$U_{н.а.} \geq U_{н.с}; U_{м.а} \geq U_{р.м.} \quad (2.14)$$

де $U_{н.а.}$, $U_{н.с}$ - номінальна напруга відповідно апарату, що вибирається та напруга мережі; $U_{м.а}$ - максимально допустима напруга апарата (можна прийняти для розрядників - $1,25U_{н.}$; для вимикачів, роз'єднувачів, ізоляторів – $1,15 U_{н.}$; для запобіжників, реакторів, трансформаторів струму і напруги, кабелів $1,1 U_{н.}$).

При виборі апаратів за струмом

$$I_{н.а.} \geq I_p; \quad (2.15)$$

де $I_{н.а.}$ - дається при розрахунковій температурі зовнішнього середовища $\theta_{о.с} = +35^{\circ}\text{C}$.

Струмоведучі частини й електричні апарати повинні бути динамічно і термічно стійкі при струмах КЗ:

$$I_{\max} \geq I_y \text{ чи } i_{\max} \geq i_y \quad (2.16)$$

де $I_{\max}$, $i_{\max}$ - діюче значення й амплітуда максимально припустимого струму, що характеризують динамічну стійкість апарата; I_y , i_y - діюче значення та амплітудне значення ударного струму КЗ

$$I_t \cdot \sqrt{t} \geq I_{\infty} \cdot \sqrt{t_{\phi}} \quad (2.17)$$

де I_t - струм термічної стійкості, що даний апарат може витримати без ушкодження протягом t (1...10 с) (приводиться в каталогах); t_{ϕ} - приймається 0,25 с.

2.6.1 Добір магнітних пускачів

Магнітні пускачі добирають за номінальною напругою мережі $U_{н.м.}$ номінальним струмом керованого двигуна $I_{н.д.}$, а також за потужністю та режимом роботи двигуна:

$$I_{н.п.} \geq I_{н.д.}; U_{н.п.} = U_{н.м.}; P_{м.ж} \geq P_{м.д.} \quad (2.18)$$

де: $I_{н.п.}$, $U_{н.п.}$ - номінальний струм і напруга пускача; $P_{м.ж.}$ - максимальна потужність керованого пускачем; $P_{н.д.}$ - номінальна потужність двигуна.

У разі керування групою електродвигунів

$$I_{н.п.} \geq \sum_1^K I_{н.д.i} \quad (2.19)$$

Обраній пускач перевіряють за розривною здатністю при наявності максимального захисту:

$$I_{р.п.} \geq 1,2 \cdot I_K^{(3)} \quad (2.20)$$

де: $I_{р.п.}$ - граничний струм до вимикається; $I_K^{(3)}$ - струм трифазного короткого замикання на виході пускача.

Для захисту відгалуження з одним електродвигуном з короткозамкненим ротором уставка спрацювання захисту пускача $I_{у.п.}$ вибирається за умовою:

$$I_{у.п.} \geq I_{п.н.}, \quad (2.21)$$

де $I_{п.н.}$ - пусковий номінальний струм двигуна.

Для захисту відгалуження з одночасним пуском кількох двигунів

$$I_{у.п.} \geq \sum_{i=1}^n I_{н.м.i} \quad (2.22)$$

Для захисту мережі з освітлювальним навантаженням

$$I_{у.п.} \geq 3 \cdot I_{р.о.} \quad (2.23)$$

де: $I_{р.о.}$ - розрахунковий струм освітлювального навантаження.

					2410 ДП.ОА-71-02 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Струм уставки максимальних реле пускачів, які захищають освітлювальні трансформатори:

$$I_{y.п.} \geq 3 \cdot I_{p.o.}/K_{TP} \quad (2.24)$$

де K_{TP} - коефіцієнт трансформації трансформатора.

Обрана уставка спрацювання захисту пускача повинна перевірятися на надійність його роботи за умовою

$$I_{K.min}^{(2)}/I_{y.п.} \geq 1,5. \quad (2.25)$$

2.6.2 Вибір автоматичних вимикачів у загальнопромисловому виконанні

Автоматичні вимикачі є на відміну від плавких запобіжників, апаратами багаторазової дії, які споряджені пристроями витримки часу, забезпечуючи вибірковою дію захисту. Всі автомати мають в кожній фазі максимальне струмове реле прямої дії, що називається розчеплювачем. На основі каталогів на автомати та технічних умов їх роботи вибір апаратів захисту виконується за трьома нижче наведеними умовами.

$$I_{н.а.} \geq I_p; U_{н.а.} = U_{н.м.}; I_{в.} \geq 1,2 \cdot I_K^{(3)} \quad (2.26)$$

де $I_{н.а.}$, $U_{н.а.}$ – номінальні струми та напруги автомата; $I_{в.}$ - граничний струм автомата, що вимикається; $I_K^{(3)}$ - струм трифазного короткого замикання на вхідних затискачах автоматичного вимикача. Необхідна додаткова перевірка на термічну та електродинамічну стійкість.

Струм уставки $I_{y.а.}$ максимального захисту автомата обирають за умовою:

$$I_{y.а.} \geq I_{п.max} + \sum_{i=1}^{K-1} I_{н.i} \quad (2.27)$$

де: $I_{п.max}$ - номінальний пусковий струм найбільш потужного електродвигуна;

$\sum_{i=1}^{K-1} I_{н.i}$ – сума номінальних струмів решти електроспоживачів.

Вибране значення уставки [6] повинно бути перевірене на надійність вимикання автоматом струму двофазного короткого замикання $I_{K.min}^{(2)}$ у найвіддаленішій точці захищеної мережі за умовою

$$I_{K.min}^{(2)}/I_{y.а.} \geq 1,5 \quad (1,25) \quad (2.28)$$

Таблиця 2.11 – Електричні апарати ч.1

Умови вибору електричних апаратів																
Місце встанов.	Позначення схеми	За номін. напругою		За номінальним струмом		За струмом вимикання		За ел.-дин. стійкістю		За термічною стійкістю		Розрахунок уставки спрацювання			Тип прийнятого апарата	
		$U_{ном.ап} \geq U_M$	$I_{ном.ап} \geq I_p$	$I_{ном.ап} \geq I_{(3)}$	$I_{вим.} \geq I_{кi}^{(3)}$	$I_{д.с.} \geq I_y$	$I_{т.с}^2 t_{\infty} \geq I_{\infty}^2 t_{пр}$	$I_{уст}^{(2)}$ кА	$I_{к.min}^{(2)}$ кА	$K_{ч}$						
		$U_{нап}$ кВ	U_M кВ	$I_{нап}$ А	$I_{р'}$ А	$I_{в.}$ кА	$I_{к.max}^{(3)}$ кА	$I_{д.с}$ кА	I_y кА	$I_{т.с}$ кА	$I_{\infty}^2 t_{пр}$	$I_{уст}$ кА				
Напруга мережі $U_n = 35$ кВ																
Роз'єднувачі																
Ввід 35 кВ	QS1	35	35	1000	16,496	–	–	63	13,503	25 ² *4	4,594 ²	–	–	–	–	РНД-35/1000У1
	QS2															
	QF1															
	QF2	35	35	630	16,496	10	5,304	26	13,503	19 ² *4	4,594 ²	0,2	0,0799	2,502	–	С-35М-630/10
	QF3															
Напруга мережі $U_n = 0,4$ кВ																
Автоматичні вимикачі																
Закритий РП	QF4															
	QF5	0,4	0,4	1500	1443,38	25	16,0833	–	–	–	–	–	–	–	–	АВМ15НВ
	QF6															
	QF7															
	QF8	0,4	0,4	125	114,183	25	3,4129	–	–	–	–	–	–	–	–	ВА-89-32
	QF9															
	QF10	0,4	0,4	8	6,553	4,5	0,1967	–	–	–	–	–	–	–	–	ВА-47-29
	QF11															
	QF12	0,4	0,4	800	544,561	35	9,4325	–	–	–	–	–	–	–	–	ВА-89-40

					2410 ДП.ОА-71-02 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

Таблиця 2.12 – Електричні апарати ч.2

Місце встанов.	Позначення схеми	Умови вибору електричних апаратів						Тип прийнятого апарата
		За номін. напругою $U_{\text{ном.ап}} \geq U_{\text{м}}$		За номінальним струмом $I_{\text{ном.ап}} \geq I_p$		За струмом вимикання $I_{\text{вим.}} \geq I_{\text{кі}}^{(3)}$		
		$U_{\text{н.ап}}$ кВ	$U_{\text{м}}$ кВ	$I_{\text{н.ап}}$ А	$I_{\text{р}}$ А	$I_{\text{в.}}$ кА	$I_{\text{К.мах}}^{(3)}$ кА	
Автоматичні вимикачі								
L4	QF13	0,4	0,4	250	169,809	35	5,6829	ВА-89-35
L10	QF14	0,4	0,4	4	3,106	4,5	0,1845	ВА-47-29
L5	QF15	0,4	0,4	3	2,598	4,5	0,0923	ВА-47-29
L11	QF16	0,4	0,4	4	3,379	4,5	0,0865	ВА-47-29
L6 L12	QF17- QF20	0,4	0,4	2	1,949	4,5	0,1730	ВА-47-29
Допоміжне устаткування і освітлення	QF21- QF26	0,23	0,23	2	1,13	4,5	0,0999	ВА-47-29
Магнітні пускачі								
L1 L7	KM1- KM6	0,4	0,4	63	38,06	5	3,4129	ПВИ-63Б
L2 L8	KM7- KM10	0,4	0,4	25	3,28	2,9	0,1967	ПВИ-23Б
L3 L9	KM11- KM14	0,4	0,4	320	272,28	13,2	9,4325	ПВИ-320
L4	KM15	0,4	0,4	250	169,81	7,8	5,683	ПВИ-250Б
L5	KM16	0,4	0,4	25	2,598	2,9	0,0923	ПВИ-23Б
L10	KM17	0,4	0,4	25	3,106	2,9	0,1845	ПВИ-23Б
L11	KM18	0,4	0,4	25	3,379	2,9	0,08654	ПВИ-23Б

2.7 Основні енергетичні показники підприємства

2.7.1 Розрахунок втрат потужності в трансформаторах

Наближені втрати активної і реактивної потужності в трансформаторах (розраховані в п.2.3) наведені в табл. 2.13.

Таблиця 2.13 - Втрати потужності в трансформаторі

№	$S_{\text{н.т.}}$, кВА	ΔP , кВт	ΔQ , кВАр
ТМ-1000/35	1000	20	100

Визначення річних втрат активної потужності в трансформаторі за формулою:

$$\Delta W_{TP} = \Delta P_X \cdot T_p + \beta^2 \cdot \Delta P_K \cdot \tau; \quad (2.29)$$

де: $\Delta P_X, \Delta P_K$ – задані в параметрах трансформатора (табл. 2.3); T_p - кількість роботи днів трансформатора у році; τ - кількість годин використання втрат.

$$\tau = 8760 \cdot (0.124 + T_M \cdot 10^{-4}) = 8760 \cdot (0.124 + 6500 \cdot 10^{-4}) = 6780.24 \text{ год.};$$

Коефіцієнт завантаженості трансформатора.

$$\beta = \frac{S_p}{S_{н.т.}} = \frac{873,340}{1000} = 0,8733$$

$$\Delta W_{TP} = 2 \cdot 8760 + 0.8733^2 \cdot 10.9 \cdot 6780.24 = 73883,569 \text{ кВт} \cdot \text{год};$$

Визначення річних втрат реактивної потужності в трансформаторі за формулою:

$$\Delta V_{TP} = \Delta Q_\mu \cdot T_p + \beta^2 \cdot \Delta Q_K \cdot \tau; \quad (2.30)$$

$$\Delta Q_\mu = I_{X\%} \cdot \frac{S_{н.т.}}{100} = 1.4 \cdot \frac{1000}{100} = 14 \text{ кВАр};$$

$$\Delta Q_K = U_{X\%} \cdot \frac{S_{н.т.}}{100} = 6.5 \cdot \frac{1000}{100} = 65 \text{ кВАр};$$

$$\Delta V_{TP} = 14 \cdot 8760 + 0.8733^2 \cdot 65 \cdot 6780.24 = 458783,7 \text{ кВАр} \cdot \text{год};$$

Кількість переданої через трансформатор активної енергії за рік:

$$W_{річне} = S_p \cdot \cos \varphi \cdot T_M = 873,34 \cdot 0,8581 \cdot 6500 = 4870937,5 \text{ кВт} \cdot \text{год};$$

Відсоток втрат за рік:

$$W_{річне\%} = \frac{\Delta W_{TP}}{W_{річне}} \cdot 100\% = \frac{73883,569}{4870937,5} \cdot 100\% = 1,51\%;$$

2.7.2 Розрахунок втрат потужності в лініях електричної мережі

Втрати в лініях обраховуються за наступними формулами а результати заносяться до табл. 2.14:

$$\Delta W_{Li} = \frac{3 \cdot I_{pi}^2 \cdot R_{Li} \cdot \tau}{1000}, \text{ кВт} \cdot \text{год}; \quad (2.31)$$

$$\Delta V_{Li} = \frac{3 \cdot I_{pi}^2 \cdot X_{Li} \cdot \tau}{1000}, \text{ кВАр} \cdot \text{год}; \quad (2.32)$$

Лінія L_1 :

					2410 ДП.ОА-71-02 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta W_{L1} = \frac{3 \cdot I_{p1}^2 \cdot R_{L1} \cdot \tau}{1000} = \frac{3 \cdot 114,183^2 \cdot 0,063 \cdot 6780,24}{1000} = 49,409 \text{ кВт} \cdot \text{год};$$

$$\Delta V_{L1} = \frac{3 \cdot I_{p1}^2 \cdot X_{L1} \cdot \tau}{1000} = \frac{3 \cdot 114,183^2 \cdot 0,007 \cdot 6780,24}{1000} = 22,135 \text{ кВАр} \cdot \text{год};$$

Таблиця 2.14 – Втрати активної і реактивної потужності в лініях

№ лінії	I_p, A	$R_L, \text{Ом}$	$X_L, \text{Ом}$	$\Delta W, \text{кВт} \cdot \text{год}$	$\Delta V, \text{кВАр} \cdot \text{год}$
1	114,183	0,063	0,007	16574,81	1856,38
2	6,553	1,172	0,0105	1023,53	9,17
3	544,561	0,01	0,007	62833,03	42223,80
4	169,809	0,033	0,007	19293,62	4105,68
5	2,598	2,5	0,014	343,25	1,92
6	1,949	1,333	0,007	102,97	0,54
7	114,183	0,063	0,007	16574,81	1856,38
8	6,553	1,172	0,0105	1023,53	9,17
9	544,561	0,01	0,007	62833,03	42223,80
10	3,106	1,25	0,007	245,33	1,37
11	3,379	2,667	0,014	619,20	3,25
12	1,949	1,333	0,007	102,97	0,54

2.7.3 Розрахунок компенсація реактивної потужності

Оскільки середньозважений коефіцієнт потужності підприємства становить 0,85, то пропонується виконати компенсацію реактивної потужності на шинах секцій РП-1 головної понижувальної підстанції підприємства. Встановлюємо по компенсатору на кожну з двох секцій. Така схема компенсації дозволяє розвантажити від реактивної потужності трансформатори ГПП, лінії їх живлення та енергосистему. Потужність компенсаційної установки визначається різницею між розрахунковою та величиною реактивної потужності, що задає енергосистема

$$Q_{KY} = Q_{P.VUZ} - Q_{EC}; \quad (2.33)$$

В роботі потужність Q_{EC} визначаємо самостійно для очікуваного коефіцієнта потужності $\cos\phi = 0.93$ після компенсації. Тоді реактивна потужність компенсаційної установки

$$Q_{KY} = P_{P.VUZ}(tg\phi_{CЗВ} - tg\phi_{EC}); \quad (2.34)$$

					2410 ДП.ОА-71-02 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

де $P_{P.BY3}$, $\cos\varphi_{C3B}$ - активна розрахункова потужність вузла (РП) та середньозважений коефіцієнт потужності цього вузла.

Розрахункові параметри секції №1:

$$P_{P.BY3} = P_{P.c.N\#1} = 59,4 + 1,3 + 288 + 45 + 1,8 + 1,35 = 396,85 \text{ кВт};$$

$$Q_{P.c.N\#1} = 34,482 + 2,532 + 172,026 + 27,888 = 236,9293 \text{ кВАр};$$

$$S_{P.c.N\#1} = \sqrt{(396,85)^2 + (236,9293)^2} = 462,1963 \text{ кВА};$$

$$\cos \varphi_{EC} = 0.93;$$

Розрахункові параметри секції №2:

$$P_{P.BY3} = P_{P.c.N\#2} = 59,4 + 1,3 + 288 + 45 + 1,35 + 1,125 + 1,35 = 352,525 \text{ кВт};$$

$$Q_{P.c.N\#2} = 34,482 + 2,532 + 172,026 + 1,134 + 1,404 = 211,5789 \text{ кВАр};$$

$$S_{P.c.N\#2} = \sqrt{(352,525)^2 + (211,5789)^2} = 411,1442 \text{ кВА};$$

$$\cos \varphi_{EC} = 0.93;$$

Коефіцієнт потужності для секцій:

$$\cos \varphi_{C3B1} = \frac{P}{S} = \frac{P_{P.c.N\#1}}{S_{P.c.N\#1}} = \frac{396,85}{462,1963} = 0,8586;$$

$$\cos \varphi_{C3B2} = \frac{P}{S} = \frac{P_{P.c.N\#2}}{S_{P.c.N\#2}} = \frac{352,525}{411,1442} = 0,8574;$$

Коефіцієнт реактивної потужності для секцій:

$$K_{c.N\#1} = \operatorname{tg} \varphi_{C3B1} = \frac{Q}{P} = \frac{Q_{P.c.N\#1}}{P_{P.c.N\#1}} = \frac{236,9293}{396,85} = 0,597;$$

$$K_{c.N\#1} = \operatorname{tg} \varphi_{C3B2} = \frac{Q}{P} = \frac{Q_{P.c.N\#2}}{P_{P.c.N\#2}} = \frac{211,5789}{352,525} = 0,6002;$$

Знаходимо за заданим значенням $\cos \varphi_{EC}$ значення $\operatorname{tg} \varphi_{EC}$:

$$\operatorname{tg} \varphi_{EC} = \operatorname{tg}(\arccos(\cos \varphi_{EC})) = \operatorname{tg}(\arccos(0,775)) = 0,395;$$

Розрахункове значення величини Q_{KY} -розрахункове потужності компенсуючих пристроїв:

$$Q_{KY-розр.1} = P_{P.c.N\#1}(\operatorname{tg} \varphi_{C3B1} - \operatorname{tg} \varphi_{EC}) = 396,85 \cdot (0,597 - 0,395) = 80,0841 \text{ кВАр};$$

$$Q_{KY-розр.2} = P_{P.c.N\#2}(\operatorname{tg} \varphi_{C3B2} - \operatorname{tg} \varphi_{EC}) = 352,525 \cdot (0,6002 - 0,395) = 72,2521 \text{ кВАр};$$

Обираємо конденсаторні установки (КУ), дані заносимо в табл 2.15.

					2410 ДП.ОА-71-02 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Таблиця 2.15 – Параметри КУ

Місце встановлення	Тип КУ	Потужність, кВАр	Номинальний струм, А	Номинал ввідного запобіжника, А	Габаритний розмір	п
Секція №1	УКРМ (АКУ)-0,4-80-10	80	116	200	1000x800x300	1
Секція №2	УКРМ (АКУ)-0,4-80-10	80	116	200	1000x800x300	1

Сумарна потужність КУ:

$$Q_{КУ1} = Q_{КУ2} = 80 \text{ кВАр};$$

Рівень розрахункової споживаної реактивної потужності після компенсації:

$$Q'_{P \text{ c.} \text{ №1}} = Q_{P \text{ c.} \text{ №1}} - Q_{КУ1} = 236,9293 - 80 = 156,9293 \text{ кВАр};$$

$$Q'_{P \text{ c.} \text{ №2}} = Q_{P \text{ c.} \text{ №2}} - Q_{КУ2} = 211,5789 - 80 = 131,5789 \text{ кВАр};$$

Рівень повної розрахункової споживаної потужності після компенсації:

$$S'_{P \text{ c.} \text{ №1}} = \sqrt{(P_{P \text{ c.} \text{ №1}})^2 + (Q'_{P \text{ c.} \text{ №1}})^2} = \sqrt{(396,85)^2 + (156,9293)^2} = 426,7513 \text{ кВА};$$

$$S'_{P \text{ c.} \text{ №2}} = \sqrt{(P_{P \text{ c.} \text{ №2}})^2 + (Q'_{P \text{ c.} \text{ №2}})^2} = \sqrt{(352,525)^2 + (131,5789)^2} = 376,2803 \text{ кВА};$$

Розрахуємо нові значення коефіцієнту потужності та коефіцієнту реактивної потужності для секцій.

Коефіцієнт потужності:

$$\cos' \varphi_{C3B1} = \frac{P}{S} = \frac{P_{P \text{ c.} \text{ №1}}}{S'_{P \text{ c.} \text{ №1}}} = \frac{396,85}{426,7513} = 0,93;$$

$$\cos' \varphi_{C3B2} = \frac{P}{S} = \frac{P_{P \text{ c.} \text{ №2}}}{S'_{P \text{ c.} \text{ №2}}} = \frac{352,525}{376,2803} = 0,937;$$

Коефіцієнт реактивної потужності:

$$K'_{P \text{ c.} \text{ №1}} = \operatorname{tg}' \varphi_{C3B1} = \frac{Q}{P} = \frac{Q'_{P \text{ c.} \text{ №1}}}{P_{P \text{ c.} \text{ №1}}} = \frac{156,9293}{396,85} = 0,3954;$$

$$K'_{P \text{ c.} \text{ №2}} = \operatorname{tg}' \varphi_{C3B2} = \frac{Q}{P} = \frac{Q'_{P \text{ c.} \text{ №2}}}{P_{P \text{ c.} \text{ №2}}} = \frac{131,5789}{352,525} = 0,3732;$$

$$\cos \varphi_{C3B1} = 0,933 \geq 0,93$$

					2410 ДП.ОА-71-02 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

$$\cos \varphi_{\text{СЗВ2}} = 0,937 > 0,93$$

отже умова $\cos \varphi_{\text{СЗВ}} \geq \cos \varphi_{\text{ЕС}}$ виконується.

Таблиця 2.16 – Розрахунок компенсації реактивної потужності.

До компенсації					
Місце встановлення	P_p , кВт	Q_p , кВАр	S_p , кВА	$\cos \varphi_{\text{СЗВ}}$	$\text{tg} \varphi_{\text{СЗВ}}$
Секція №1	396,85	236,9293	462,1963	0,8586	0,5970
Секція №2	352,525	211,5789	411,1442	0,8574	0,6002
Після компенсації					
Місце встановлення	$Q_{\text{ку}}$, кВАр	Q'_p , кВАр	S'_p , кВА	$\cos' \varphi_{\text{СЗВ}}$	$\text{tg}' \varphi_{\text{СЗВ}}$
Секція №1	80	156,9293	426,7513	0,93	0,3954
Секція №2	80	131,5789	376,2803	0,937	0,3732

Враховуючи, що змінилась розрахункова повна потужність, зменшилось і навантаження на трансформатор, тому і зміняться й річні атрати і витрати енергії.

Таблиця 2.17 – Економічний ефект від компенсації.

До компенсації				
β	$\Delta W_{\text{ТР}}$, кВт · год	$\Delta V_{\text{ТР}}$, кВАр · год	$W_{\text{річне}}$, кВт · год	$W_{\text{річне\%}}$
0,8733	73888,712	458783,7	4870937,5	1,517
Після компенсації				
β	$\Delta W_{\text{ТР}}$, кВт · год	$\Delta V_{\text{ТР}}$, кВАр · год	$W_{\text{річне}}$, кВт · год	$W_{\text{річне\%}}$
0,803	65178,122	406839,81	4478803,033	1,455

Висновки

В умовах підприємства «Керченська насосна станція» з розрахунковим навантаженням $P_p = 749,375$ кВт, $Q_p = 448,508$ кВАр, $S_p = 873,340$ кВА доцільно виконати живлення від двох трансформаторів марки ТМ та номінальною потужністю 1000 кВА (один трансформатор використовується для резервного живлення).

Для розподілу електричної енергії по підприємству застосовано кабельні лінії марок АВВГ, ВВГ та КГНВ, тому що значна частина кабелів

					2410 ДП.ОА-71-02 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

використовується в приміщеннях з підвищеною вологістю, а кабель марки КГНВ забезпечує живлення двигун лебідки, адже останню необхідно пересувати . Максимальний переріз КЛ складає 300 мм².

Компенсація реактивної потужності доцільна, оскільки показник $\cos\varphi$ складає 0,8586 на секції №1 та 0.8574 – на другій. Компенсацію було виконано конденсаторними установками УКРМ (АКУ)-0,4-80-10. Після компенсації значення реактивної потужності склало $Q_p = 288,508$ кВАр, а повної потужності $S_p = 803,032$ кВА. Річна економія активної енергії становить 392134,467 кВт·год завдяки зменшенні завантаження трансформатора після компенсації.

Величини струмів КЗ були розраховані в іменних одиницях, адже рівень напруги підприємства 0,4 кВ, і не перевищують 57,73 кА. На основі значень струмів КЗ та робочих струмів було обрано комутаційне та захисне обладнання – роз'єднувачі (РНД-35/1000У1), автоматичні вимикачі (серії ВА, С-35М-630/10, АВМ15НВ) та магнітні пускачі (серія ПВИ). Також в схемі присутні запобіжники, трансформатори струму тощо.

Підприємство характеризується наступними техніко-економічними показниками: коефіцієнт потужності – 0.85, втрати активної енергії - 73888,712 кВт·год, реактивно - 458783,70 кВАр·год, а річні витрати активної енергії становлять 4870937,5 кВт·год. Також було пораховано втрати в лініях, що наведені в табл. 6.3.

З метою покращення техніко-економічних показників рекомендується встановлення компенсаторів реактивної потужності, заміна електродвигунів на більш новіші з більшим ККД та коефіцієнтом потужності, заміна ламп розжарювання в освітленні майстерні та прожекторному освітленні на світлодіодні, які мають значно кращі енергетичні показники.

					2410 ДП.ОА-71-02 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

3. Спеціальна частина

3.1 Обґрунтування та вибір системи електроприводу

3.1.1 Регулювання режимів роботи насосної станції

Для забезпечення заданого режиму роботи насосу при зміні умов роботи потрібно регулювати режимів роботи насосних установок. Це завдання може бути розділене на два напрямки:

- 1) регулювання гідравлічних режимів роботи насосів,
- 2) регулювання енергетичної ефективності роботи устаткування насосу.

Для насосних установок відцентрового типу застосовують наступні способи регулювання подачі рідини й тиску: дроселюванням трубопроводу; перепуском частини потоку рідини з вихідного патрубка насоса у вхідний; відключенням або підключенням насосів (ступінчате регулювання); зміною частоти обертання робочого колеса насоса.

Дроселювання трубопроводу (рис.3.1) є досить розповсюдженим способом регулювання тиску й подачі рідини. Регулюючим елементом у цьому випадку є механічний пристрій у вигляді шибера, дроселя-клапана, засувки, діафрагми й т.п., що розташовується на напірному патрубку насоса та за рахунок свого переміщення змінює поперечний переріз трубопроводу.

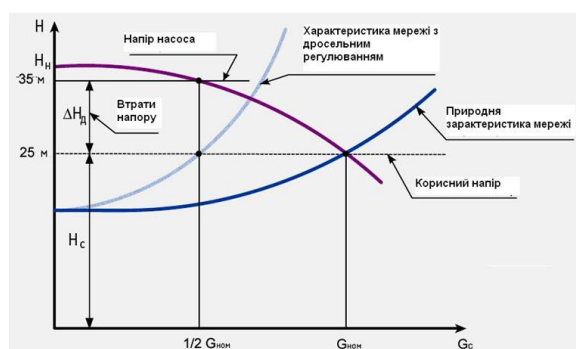


Рисунок 3.1 - Характеристики насосу і мережі при дросельному регулюванні

					2410 ДП.ОА-71-02 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Спеціальна частина		
Розроб.		Горобець А.М.					
Перевір.		Чермалих О.В.					
Реценз.							
Н. Контр.		Смоляр В.Г.					
Затверд.		Розен В.П.					
					Літ.	Арк.	Аркушів
						62	114
					«КПІ ім. Ігоря Сікорського» ІЕЕ		

При використанні дросельних елементів відбувається розподіл напору на елементах системи. Цей розподіл напору показано на рисунку 3.1, де ΔH_d - падіння напору на дросельному елементі. Для підтримки заданого тиску в мережевому трубопроводі при зміні витрати рідини доводиться змінювати гідравлічний опір регулюючого елемента. При цьому загальна гідравлічна характеристика буде мати більш крутий вигляд. Величина ΔH_d з таким регулюванням неухильно збільшується. Таким чином, чим глибше проводиться дроселювання регулюючим елементом, тим більше енергетичних втрат має весь технологічний процес

Зміна частоти обертання робочого колеса (рис. 3.2) насосної установки дозволяє здійснити безперервне регулювання продуктивності насосу із меншими витратами енергії, ніж у попередніх варіантах. Однак воно вимагає більших витрат на регулююче устаткування, особливо для установок з потужністю вище середньої, і приводить до погіршення електромагнітної сумісності з мережею живлення.

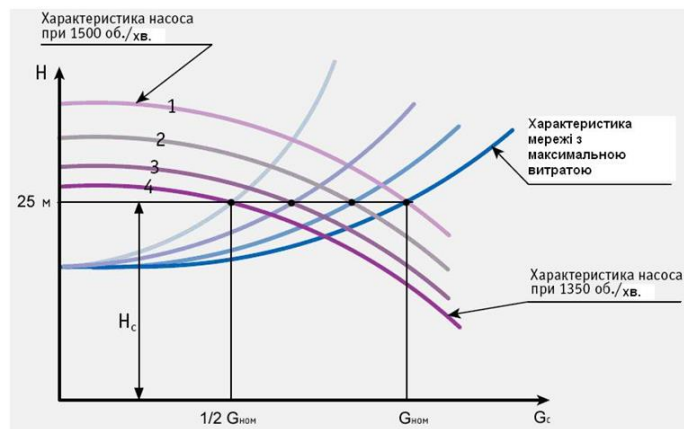


Рисунок 3.2 - Характеристики насосної установки та мережі при частотному регулюванні

Крива 1 відповідає номінальній (при номінальній частоті обертання приводу) напірній характеристиці, а криві 2 - 4 напірним характеристикам при зниженій частоті обертання. Якщо організувати роботу приводу насосного агрегату таким чином, щоб він при зміні параметрів технологічного процесу

(витрати в мережі і тиску на вході агрегату) змінював частоту обертання, то в підсумку можна без істотних втрат енергії стабілізувати тиск в мережі споживачів. При такому способі регулювання виключаються втрати напору (немає дросельних елементів), а значить, і втрати гідравлічної енергії. Спосіб регулювання тиску в мережі шляхом зміни частоти обертання приводу насосного агрегату знижує енергоспоживання ще й з іншої причини. Характер зміни коефіцієнта корисної дії насоса η_n в залежності від витрати рідини Q при різних частотах обертання представлений на рис. 3.3.

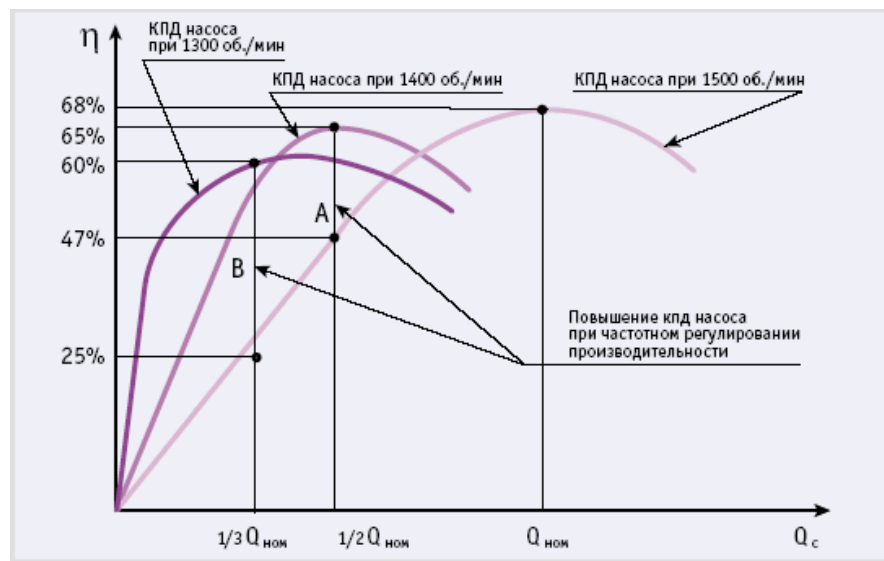


Рисунок 3.3 - Зміна ККД насосного агрегату з частотним регулюванням при зміні продуктивності

Відповідно до теорії подібності максимум коефіцієнта корисної дії зі зменшенням частоти обертання трохи знижується і зміщується вліво. Аналіз необхідного зміни частоти насосного агрегату при зміні витрати в мережі показує, що зі зменшенням витрат потрібно зниження частоти обертання. Якщо розглянути роботу агрегату для витрати менше номінального (вертикальні лінії А і В), то для цих режимів раціонально працювати на зниженій частоті обертання. В цьому випадку ККД насоса вище, ніж при роботі на номінальній частоті обертання. Таким чином, зниження частоти обертання відповідно до технологічної навантаження дозволяє не тільки економити споживану енергію

на виключення гідравлічних втрат, а й отримати економічний ефект за рахунок підвищення коефіцієнта корисної дії самого насоса - перетворення механічної енергії в гідравлічну. В результаті досліджень було виявлено залежність споживаної потужності від продуктивності насосів при обох способах регулювання тиску (див. рис. 3.4) [5].

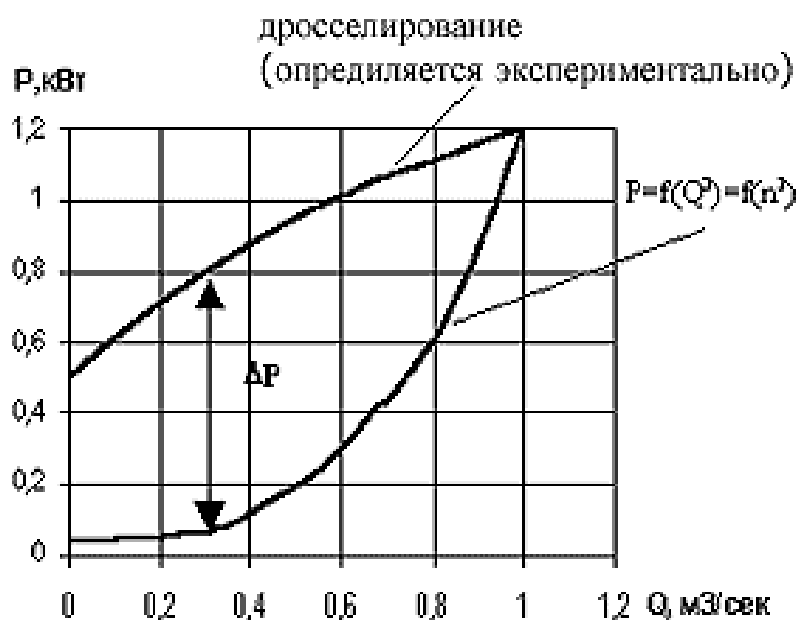


Рисунок 3.4 – Залежність споживаної потужності від продуктивності

При установці ПЧ швидкість трифазного асинхронного двигуна регулюється за рахунок перетворення напруги змінного струму в напругу постійного струму, яке згодом знову перетвориться в напругу зі змінною частотою і амплітудою. Швидкість двигуна змінюється відповідно до одержуваної частоти.

Тому в даній роботі в насосній установці буде використовуватись регульований електропривод, а саме перетворювач частоти – асинхронний двигун (ПЧ-АД) структурна схема якого наведена на рисунку 3.4.

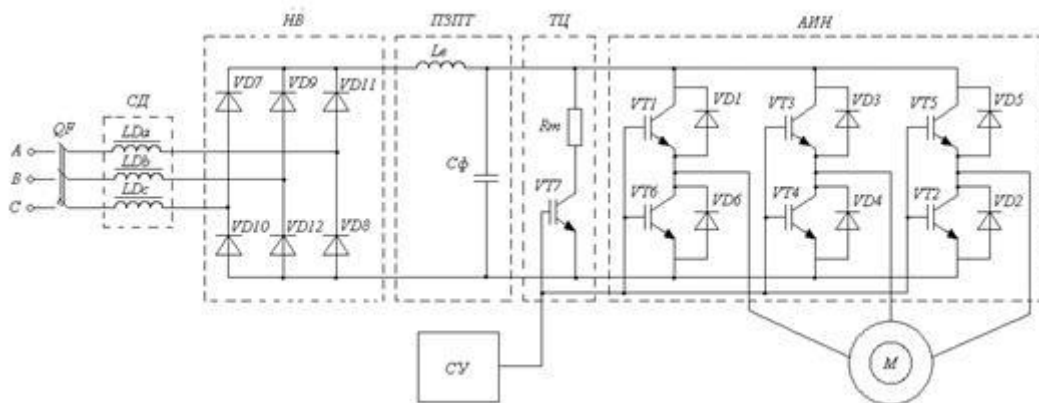


Рисунок 3.4 – Типова схема системи ПЧ-АД

3.1.2 Вибір електроприводу установки

За відомої продуктивності, напору і ККД насосної установки розраховуємо потужність на валу двигуна за формулою:

$$P_2 = k_3 \cdot \frac{Q \cdot H \cdot g \cdot \rho}{3600 \cdot \eta_n} \quad (3.1)$$

де $k_3 = 1,1 \dots 1,3$ – коефіцієнт запасу, що враховує можливі перевантаження електродвигуна при експлуатації.

Q – подача насоса, максимально можлива в схемі проектованої насосу високого тиску, м³/год

H – натиск відповідний подачі, м;

g – прискорення вільного падіння, 9.81 м/с²;

ρ – густина води, що перекачується, 1002 кг/м³;

η_n – ККД насоса;

3600 – коефіцієнт переводу годин у секунди;

$$P_2 = 1.1 \cdot \frac{63,86 \cdot 83.53 \cdot 9.81 \cdot 1002}{3600 \cdot 0,773} = 20716,4 \text{ Вт};$$

За розрахунковою потужність на валу двигуна ($P_2 = 20716,4$ Вт) та за відомої частоти обертання лопатей насосу (2958 об/хв) обираємо асинхронний двополюсний двигун Grundfos MG180MB 3x400 з коротко замкненим ротором. Паспортні дані двигуна наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Паспортні дані MG180MB

Частота мережі	50 Гц	Момент інерції	0.065 кг·м ²
Номінальна напруга	400В (Y)	Рівень шуму	64.4 дБА
Номінальна частота обертання	2950 об/хв	Режим роботи	S1
Номінальний момент обертання	71 Нм	Вага	128 кг
Номінальний струм статора	39,5 А	Номінальна потужність	22 кВт
Максимальний струм статора	43,5 А	Клас енергоефективності	IE3
ККД	92,7%	Максимальний момент	3.2·M _H
cosφ	0.9	Пусковий момент	2.80·M _H
Струм пуску двигуна	8,3·I _H	Опір обмотки	0.128 Ом



Рисунок 3.5 – Зовнішній вигляд двигуна MG180MB

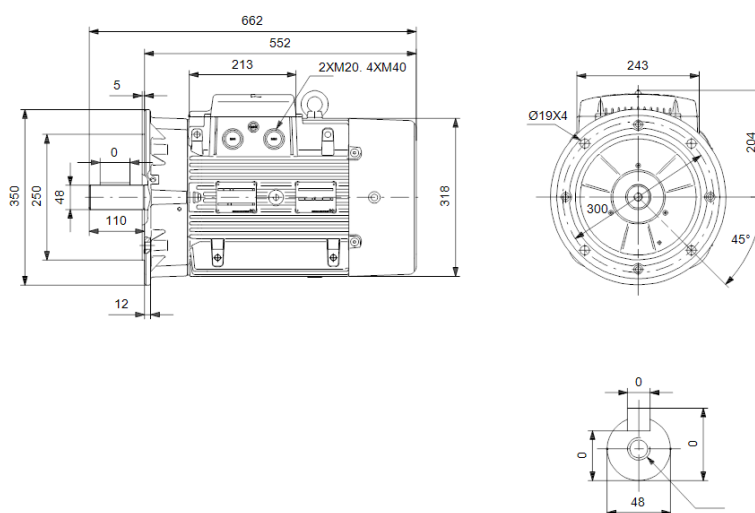


Рисунок 3.6 – Габаритні розміри двигуна MG180MB

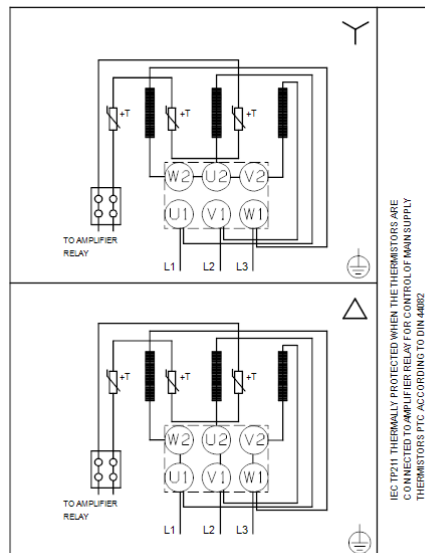


Рисунок 3.7 – Схема з'єднання двигуна

Асинхронний електродвигун є універсальним пристроєм, що перетворює електричну енергію, що подається в обмотки статора, в механічну енергію обертання ротора з мінімальними втратами. Основними його перевагами є:

- простота конструкції;
- відносно невисока ціна асинхронних двигунів в порівнянні з іншими видами моторів;
- невибагливість і простота в експлуатації;
- висока надійність конструкції;
- дуже хороша ефективність і ККД, завдяки відсутності втрат на тертя;
- відносно великий коефіцієнт потужності.

Як і інші технічні пристрої, асинхронний двигун має свої недоліки, деякі з яких притаманні лише йому:

- малий пусковий момент при досить великому струмі у двигунів з короткозамкненим ротором;
- втрати потужності при здійсненні контролю швидкості обертання;
- зменшення крутного моменту при збільшенні навантаження

Повністю закритий електродвигун MG180 з вентилятором охолодження двигуна із зазначенням основних розмірів IEC і DIN стандартів. Електродвигун

					2410 ДП.ОА-71-02 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

монтується під фланцеве з'єднання за допомогою фланця з отвором під різьбу (FT). ККД електродвигуна класифікується як IE3 відповідно до стандарту ІЕС 60034-30-1.

Електродвигун забезпечений термісторами (датчиками РТС) в обмотках. Захист реагує і на повільний, і на швидкий підйом температури, наприклад, умови постійного перевантаження і перекидання. Теплові реле необхідно підключити до зовнішнього контуру управління таким способом, щоб гарантувати, що автоматичне скидання не може стати причиною аварії. двигуни необхідно підключити до автоматичного вимикача захисту двигунів відповідно до місцевих постанов. Електродвигун можна підключити до частотно-регульованим приводу для регулювання продуктивності насоса в будь-якій робочій точці.

Згідно паспортних даних, та за допомогою додатку на сайті виробника будуємо залежності ККД (рис 3.8), коефіцієнта потужності, струму статора, електричної потужності та частоти обертання валу від потужності на валу двигуна (P2).

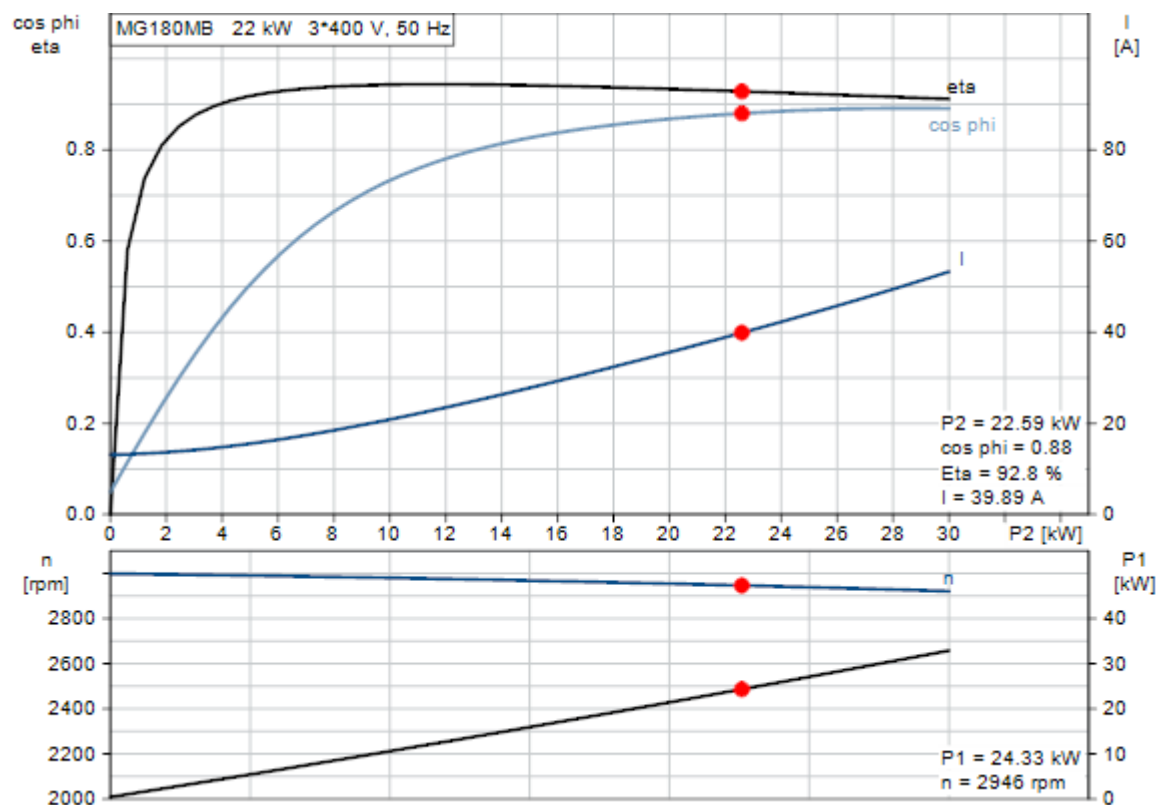


Рисунок 3.8 – Характеристики двигуна MG180MB

3.2 Розрахунок і вибір перетворювача частоти

Максимальне значення струму визначається регламентованою потужністю двигуна (8,7 А). Максимальне миттєве значення струму двигуна розраховують по формулі:

$$I_{c(\text{пик})} = \frac{P \cdot OL \cdot \sqrt{2} \cdot R}{\eta \cdot \cos\varphi \cdot \sqrt{3} \cdot U_m} \quad (3.2)$$

де P – регламентована потужність двигуна, Вт; OL – максимальний коефіцієнт перевантаження інвертора; R – коефіцієнт пульсацій струму; η – ККД двигуна; $\cos\varphi$ – коефіцієнт потужності; U_m – номінальна напруга трьохфазної мережі. Для електродвигуна потужністю 22 кВт і мережі змінного струму напругою 400 В: $P = 22$ кВт; $OL = 110\%$; $R = 120\%$; $\eta = 0,927$; $\cos\varphi = 0,9$; $U_m = 400$ В. Тоді:

$$I_{c(\text{пик})} = \frac{P \cdot OL \cdot \sqrt{2} \cdot R}{\eta \cdot \cos\varphi \cdot \sqrt{3} \cdot U_m} = \frac{22000 \cdot 1,1 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,2}{0,927 \cdot 0,9 \cdot \sqrt{3} \cdot 400} = 71 \text{ А};$$

Перейдемо до діючого значення пікового струму:

$$I_{max} = \frac{I_{c(\text{пик})}}{\sqrt{2}} = \frac{71}{\sqrt{2}} = 50,2 \text{ А}; \quad (3.3)$$

За усіма раніше розрахованими даними обираємо перетворювач частоти Lenze 223 L4TXA зі скалярним управлінням, оскільки воно доцільніше для регулювання турбомеханізмів. Його паспортні дані занесено в табл. 3.2 а схема підключення на рис. 3.9

Таблиця 3.2 – Паспортні дані обраного перетворювача частоти Lenze

Тип ESMD	P	Живлення		Вихідний струм				Автомат
		Напруга, частота	Струм	I_r 4-8кГц	I_r 10кГц	I_{max} (60с) 4-8кГц	I_{max} (60с) 10кГц	
	кВт			А	А	А	А	
223	22	3/PE 400V 50Гц	52	46	42	69	64	C80 А

					2410 ДП.ОА-71-02 ПЗ			Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				66

L4TFA		(48 Гц...62 Гц)						
-------	--	-----------------	--	--	--	--	--	--

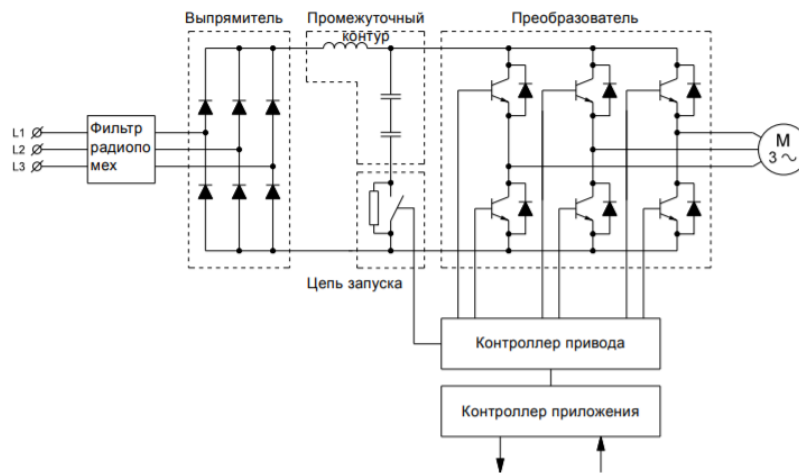


Рисунок 3.9 – Функціональна схема ПЧ

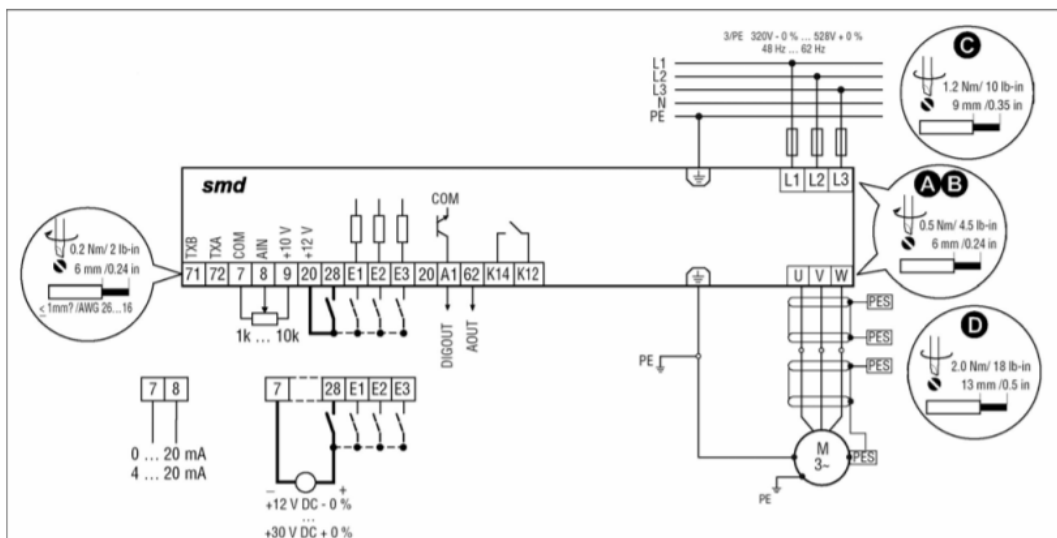


Рисунок 3.10 – Схема підключення ПЧ

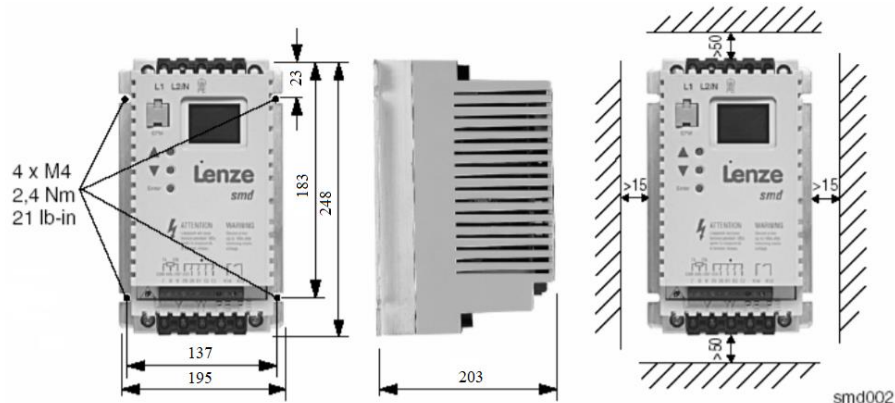


Рисунок 3.11 – Габаритні розміри ПЧ

					2410 ДП.ОА-71-02 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

Частотні перетворювачі Lenze серії ESMD зарекомендували себе як високонадійні, економічні приводи для контролю частоти обертання, захисту і управління динамічними процесами при роботі електродвигунів змінного струму потужністю від 0,25 кВт до 22 кВт.

Приводи Lenze SMD з частотним керуванням ($U/f = \text{const}$ або $U/f^2 = \text{const}$ серії ESMD відноситься до частотним перетворювачів зі скалярним керуванням. Вони мають широку область застосування для управління двигунами змінного струму насосів, компресорів, вентиляторів, двигунами систем ОВК (опалення, вентиляції, кондиціонування).

Частотні перетворювачі Lenze ESMD успішно керують швидкістю електродвигуна, альтернативно замінюючи застосування електроприводів постійного струму, механічних воротарів і багатошвидкісних двигунів. Простота в налагодженні і в обслуговуванні дозволяє не залучати до пусконаладжувальних робіт фахівців високого класу. Змінний модуль пам'яті заданих параметрів EPM забезпечує оперативне програмування пристрою. Можливість дистанційного керування опціонально реалізована за допомогою виносної клавіатури ESMD01KP. Серед стандартних функцій - управління АД зі зворотним зв'язком (ПІ-регулятор).

При експлуатації (табл. 3.3) використовуються наступні функціональні можливості: постійне регулювання швидкості; гальмування, розгін, реверсування; компенсація ковзання; контроль електродвигуна по температурі; гальмування постійним струмом; для швидкого гальмування використовується гальмівний резистор;

Перетворювачі частоти ESMD оснащені такою вбудованим захистом: Захист від перенапруги; Захист від міжфазного короткого замикання; Захист від короткого замикання фази на землю; Захист двигуна від перевантаження по струму; Захист від заклинювання валу електродвигуна;

					2410 ДП.ОА-71-02 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

Таблиця 3.3 – Стандарти та умови використання Lenze ESMD

Степень защиты	IP20
Соответствие стандартам	CE, UL, cUL
Макс.разрешенная длина кабеля двигателя	Экранированного 50м (малой емкости) Неэкранированного 100м
Влажность	Не более 95%
Выходная частота	0...240 Гц
Частота модуляции	4, 6, 8, 10 кГц
Степень загрязненности	VDE 0110 часть 2 степень загрязнения 2
Температурный диапазон	
- транспортировка	-25...+70°C
- хранение	-20...+70°C
- работа	0...+55°C
Установочная высота	0...4000м над уровнем моря
Вибростойкость	До 0,7 g
Токи утечки (EN 50178)	Более 3,5 мА на РЕ
Законы управления V/f	Линейная характеристика U/f Квадратичная характеристика U/f
Входы	Дискретные: 3 свободно прогн. Входа + Start/Stop Аналоговые: 1 вход (0-5V, 0-10V, 0-20mA, 4-20mA)
Выходы	Дискретные: 1 реле свободно прогн. 250VAC 3A, 24VDC 2A 1 Дискретный выход DC 24 V / 50 mA, NPN

Управління даним ПЧ здійснюється за допомогою контролера зворотнього осмосу через аналоговий вхід 62 ПЧ.

Таблиця 3.4 – Клеми управління ПЧ

Контакт	Описание	
71*	RS 485	Последовательный порт (клавиатура)
72*	RS 485	Последовательный порт (клавиатура)
7	Общий GND	
8	Аналоговый вход 0...+10 В см. С34	Вх . сопротивление : >50 кОм
9	Питание задающего потенциометра	+10 В 10mA
20	Питание дискретных входов	+12 В 20mA
28	Дискр . вход Start/Stop	0 Останов 1 Запуск
E1	Дискр вход E1 (ф-ция JOG1 – по умолчанию)	E1=1: JOG1 вкл
E2	Дискр вход E2 (ф-ция напр . вращения – по умолчанию)	E2=0: по часовой стрелке E2=1: против часовой стрелки
E3	Дискр вход E3 (ф-ция DCB – по умолчанию)	E3=1: DCB активно
A1*	Конфигурация цифровых выходов с с17	DC 24 V / 50 mA, NPN
62*	Конфигурация аналоговых выходов с с08 и с11	
K12	Реле (NO контакт)	AC 250V / 3 A
K14	(ф-ция «Ошибка» – по умолчанию)	DC 24 V / 2 A..240V / 0.22A

0 = LOW уровень (0...+3 В)

1 = HIGH уровень(+12...+30 В)

* - для трехфазного исполнения

3.2.1 Перевірка режимів обраного ПЧ

Розрахуємо струм, що споживає двигун при роботі від перетворювача частоти та напруги мережі 400 В. Дана формула дозволяє розрахувати струм через механічні характеристики $M(n)$:

$$I_{\text{спож}} = \frac{k \cdot n \cdot M}{9,55 \cdot \eta \cdot \cos \varphi \cdot U \cdot \sqrt{3}}; \quad (3.4)$$

де, k – коефіцієнт викривлення струму, зв'язаний з алгоритмом (0,95...1,05) формування синусоїди струму з допомогою ШІМ; n – частота обертання валу двигуна, об/хв.; M – момент навантаження на валу двигуна, Н·м;

					2410 ДП.ОА-71-02 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

9,55 – коефіцієнт приведення позасистемних (по відношенню до системи СІ) одиниць; η – ККД двигуна; $\cos\varphi$ – коефіцієнт потужності;

Таким чином:

$$I_{\text{спож}} = \frac{k \cdot n \cdot M}{9,55 \cdot \eta \cdot \cos\varphi \cdot U \cdot \sqrt{3}} = \frac{1 \cdot 2950 \cdot 71}{9,55 \cdot 0,927 \cdot 0,9 \cdot 400 \cdot \sqrt{3}} = 37,56 \text{ A}$$

Даний струм є меншим за паспортний струм ПЧ.

Можливість розгону двигуна перетворювачем від меншої швидкості до більшої за заданий час t . По цьому критерію перевіряється можливість пуска/розгону двигуна перетворювачем до заданої швидкості обертання валу за потрібний час без перевищення перевантажувальної здатності перетворювача.

По нижче наведеній формулі розраховується струм $I_{\text{спож.р.}}$, який споживає двигун при лінійному розгоні (в цьому випадку похідну кутової швидкості можна замінити на відношення приросту частоти обертання $\frac{d\omega}{dt} = \frac{\Delta n}{9,55 \cdot \Delta t}$ з приведенням позасистемних одиниць об/хв до рад/сек за допомогою коефіцієнта 9,55) від перетворювача частоти:

$$I_{\text{спож.р.}} = \frac{k \cdot n}{9,55 \cdot \eta \cdot \cos\varphi \cdot U \cdot \sqrt{3}} \cdot (M_{\text{ст}} + M_{\text{дин}}) \quad (3.5)$$

де $M_{\text{ст}}$ – статичний момент на валу двигуна при номінальній швидкості.

$$M_{\text{ст}} = \frac{P_{\text{н}} \cdot 9550}{n} = \frac{22 \cdot 9550}{2958} = 71,02 \text{ Нм}; \quad (3.6)$$

Приймаємо середній динамічний момент $M_{\text{дин}}$:

$$M_{\text{дин}} = \frac{M_{\text{п}} - M_{\text{ст}}}{2} = \frac{198,8 - 71,02}{2} = 63,9 \text{ Нм}; \quad (3.7)$$

де $M_{\text{п}}$ – пусковий момент двигуна при номінальній частоті обертів, $M_{\text{п}} = 2,8 M_{\text{н}} = 198,8 \text{ Нм}$.

Момент інерції системи складається з моменту інерції двигуна та насосного агрегату:

$$J = J_{\text{дв}} + J_{\text{н}} = 0,065 + 0,08 = 0,145 \text{ кг} \cdot \text{м}^2; \quad (3.8)$$

Середнє кутове прискорення визначається за формулою:

$$\varepsilon = \frac{M_{\text{дин}}}{J} = \frac{63,9}{0,07475} = 478,26 \text{ рад/с}^2; \quad (3.9)$$

Отже, час розгону двигуна:

					2410 ДП.ОА-71-02 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

$$t = \frac{0,105 \cdot n_H}{\varepsilon} = \frac{0,105 \cdot 2958}{478,26} = 0,65 \text{ с}; \quad (3.10)$$

Визначаємо величину струму, що споживає двигун при розгоні:

$$I_{\text{спож.р.}} = \frac{1 \cdot 2958}{9,55 \cdot 0,927 \cdot 0,9 \cdot 400 \cdot \sqrt{3}} \cdot (71,02 + 63,9) = 72,1 \text{ А}; \quad (3.11)$$

Струм, що споживається двигуном при розгоні $I_{\text{спож.р.}}$ не повинен перевищувати пускового струму перетворювача частоти (64 А) при частоті комутації 10кГц.

Повна потужність, що споживається двигуном при номінальному сталому режимі роботи:

$$S = \frac{k \cdot P}{\eta \cdot \cos \varphi} = \frac{1 \cdot 22000}{0,927 \cdot 0,9} = 26369 \text{ ВА}; \quad (3.15)$$

3.3 Визначення системи регулювання та моделювання режимів роботи установки

3.3.1 Вибір датчика швидкості

В даній системі у якості датчика струму буде обрано тахогенератор. Тахогенератор вибираємо за умови:

$$n_{\text{тг}} \geq (1,2 \dots 1,5) n_{\text{дв}} \quad (3.16)$$

$$1,2 \cdot 2958 = 3549,6 \text{ об/хв}$$

$$1,5 \cdot 2958 = 4437 \text{ об/хв}$$

Вибираємо тахогенератор постійного струму ТМГ-30П з параметрами:

$$U_{\text{тг}} = 30 \text{ В}, n_{\text{тг}} = 4000 \text{ об/хв}, P = 20 \text{ Вт}$$

Коефіцієнт підсилення тахогенератора:

$$K_{\text{підс}} = \frac{U_{\text{тг}}}{n_{\text{тг}} \cdot 0,105} = \frac{30}{4000 \cdot 0,105} = 0,071; \quad (3.17)$$

Тахогенератор ТМГ-30П УЗ використовують у вигляді датчика в системах з автоматичним регулюванням частоти обертання приводів і вважається малопотужної машиною постійного струму зі збудженням від постійних магнітів. Експлуатується тахогенератор в закритому приміщенні з діапазоном температур від -45 до +40 С, охолоджується природним чином.

					2410 ДП.ОА-71-02 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71



Рисунок 3.12 – Зовнішній вигляд тахогенератора.

3.2.2 Вибір датчика струму

За максимальним пусковим струмом якості датчика струму вибираємо датчик на ефекті Холла ACS758LCB-100В. Він може вимірювати не лише постійний струм, а й змінний в широкому діапазоні частот. Крім цього датчики на основі ефекту Холла є безконтактними і ніяк не впливають на мережу, яка вимірюється. Межі вимірювання даного датчику – до 100А, чутливість – 20 мВ/А, а напруга живлення 3-5В.



Рисунок 3.13 – Зовнішній вигляд датчика струму

3.3 Моделювання режимів роботи насосної станції опріснення води

3.3.1 Моделювання САК в програмному середовищі Matlab

В розглянутій системі для потрібної динаміки перехідних процесів і потрібної жорсткості механічної характеристики замкнутої системи доречно приймати двоконтурну систему регулювання: контур частоти обертання і контур струму. В ланцюгах зворотних зв'язків передбачені датчики з гальванічною розв'язкою за частотою обертання (тахогенератор) і струмом (датчик струму ACS758LCB-100B).

В контурі струму встановлюємо ПІ-регулятор, який дозволить усунути статичну похибку регулювання струму. В контурі швидкості встановлюємо П-регулятор, так як система не вимагає великої точності регулювання та вимог до швидкодії.

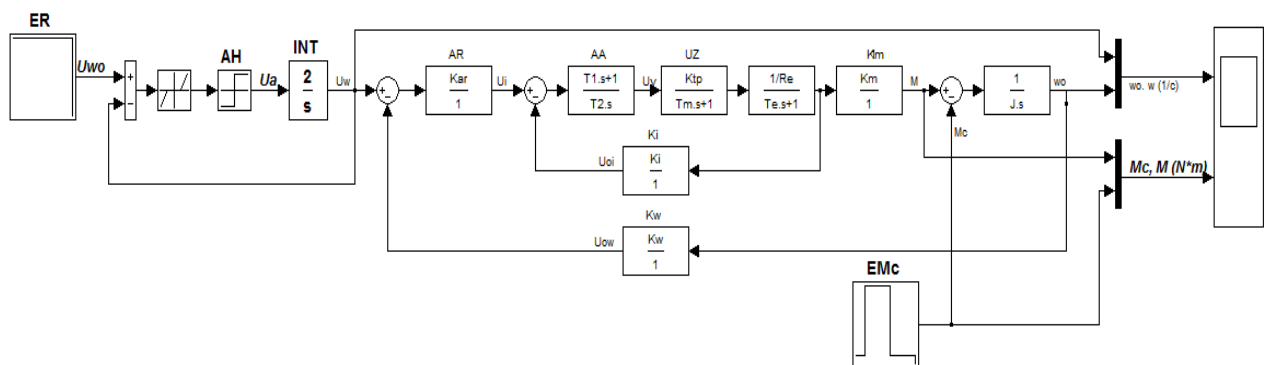


Рисунок. 3.14 – Узагальнена структурна схема системи ПЧ-АД з ПІ-регулятором швидкості та ПІ-регулятором струму

Де ER – задаючий пристрій ($U=0..10$ В); AI – задатчик інтенсивності першого порядку; AH – пристрій для задання сигналу ривку; INT – інтегратор першого порядку, який формує сигнал пропорційний лінійному прискоренню; AR – регулятор швидкості (пропорційний); AA – регулятор струму (пропорційно-інтегруючий); UZ – тиристорний регулятор напруги з коефіцієнтом передачі K_{tr} і сталою часу T_μ ;

3.3.2 Розрахунок параметрів структурної схеми САК

Розрахунок розпочинається з параметрів двигуна на основі його паспортних

даних табл. 3.1 та схеми заміщення (рис 3.15).

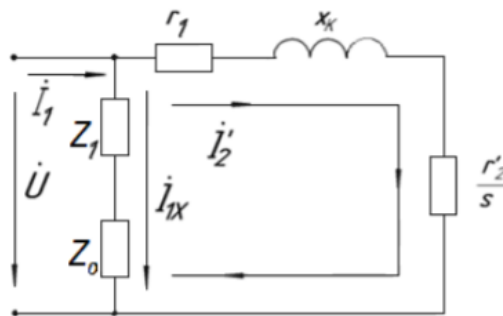


Рисунок 3.15 – Схема заміщення асинхронного двигуна

Номінальне ковзання:

$$s_H = \frac{n_0 - n_H}{n_0} = \frac{3000 - 2950}{3000} = 0.016667; \quad (3.18)$$

де, n_0 – швидкість ідеального холостого ходу, n_H - номінальна швидкість обертання.

Швидкість ідеального холостого ходу:

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_1}{p} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 50}{1} = 314.16 \frac{\text{рад}}{\text{с}}; \quad (3.19)$$

де, p – число пар полюсів, для нашого двигуна $p = 1$; f_1 – частота струму в обмотках статора, $f = 50$ Гц.

$$\alpha = \frac{r_1}{r_2'} = \frac{a_0}{\xi} \cdot \frac{1 - \eta_H}{\eta_H} \cdot \frac{1 - s_H}{s_H} = \frac{0.606}{1.09} \cdot \frac{1 - 0.927}{0.927} \cdot \frac{1 - 0.016667}{0.016667} = 2.58305; \quad (3.20)$$

де, r_1 - опір обмоток статора, Ом; r_2' - активний опір обмоток ротора, приведений до статора; a_0 - коефіцієнт, що залежить від ККД і завантаження двигуна, приймається $a_0 = 0.58..0.67$; ξ – відношення електромагнітного моменту та моменту на валу, приймається $\xi = 1.02..1.10$;

$$b = \frac{\lambda - 1 + \xi}{\xi} = \frac{3.2 - 1 + 1.09}{1.09} = 3.01835; \quad (3.21)$$

де, λ – перевантажувальний коефіцієнт двигуна;

Приведений до статора опір ротора:

$$r_2' = \frac{\sqrt{3} \cdot U_1^2}{2 \cdot P_H} \cdot \frac{s_H \cdot (1 - s_H) \cdot [b + a \cdot s_H + \sqrt{b^2 - 1 + 2 \cdot \alpha \cdot s_H \cdot (b - 1)}]}{(\lambda - 1 + \xi) \cdot (1 + 2 \cdot \alpha \cdot s_H + \alpha^2 \cdot s_H^2)} = 0.17129 \text{ Ом}; \quad (3.22)$$

					2410 ДП.ОА-71-02 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

де, U_1 - напруга на статорі двигуна.

Опір статора:

$$r_1 = \alpha \cdot r_2' = 2.58305 \cdot 0.17129 = 0.44246 \text{ Ом}; \quad (3.23)$$

Реактивний опір двигуна:

$$x_k = \sqrt{\left[\frac{\sqrt{3} \cdot U_1^2 \cdot (1 - s_H)}{2 \cdot P_H \cdot (\lambda - 1 + \xi)} - r_1 \right]^2 - r_1^2} = 1.43204 \text{ Ом}; \quad (3.24)$$

Опір статора і приведений опір статора розрахуємо за припущення що вони рівні і складають весь індуктивний опір двигуна:

$$x_1 = x_2' = \frac{x_k}{2} = \frac{1.43204}{2} = 0.71602 \text{ Ом}; \quad (3.25)$$

Повний опір двигуна:

$$R_e = 2 \cdot (R_1 + R_2') + \frac{3}{\pi} \cdot (x_1 + x_2'); \quad (3.26)$$

$$R_e = 2 \cdot (0.44246 + 0.17129) + \frac{3}{\pi} \cdot (0.71602 + 0.71602) = 2.595 \text{ Ом};$$

Сталу часу приймаємо $T_\mu = 0,01 \text{ с}$, $T_m = 0,001 \text{ с}$

Індуктивність двигуна:

$$L_e = 2 \cdot (L_1 + L_2') = \frac{x_k}{\pi \cdot f_1} = \frac{1.43204}{\pi \cdot 50} = 0.00912 \text{ Гн}; \quad (3.27)$$

Коефіцієнт за моментом:

$$K_M = \frac{M_H}{I_H} = \frac{71}{39.5} = 1.79747; \quad (3.28)$$

Коефіцієнт передачі інвентора $K_{TP} (K_{tp})$:

$$K_{TP} = \frac{U_{TPmax}}{U_{Kmax}} = \frac{1,35 \cdot 400}{10} = 54; \quad (3.29)$$

Коефіцієнти передачі зворотного зв'язку за швидкістю:

Загальний:

$$k_w = \frac{U_{Oш.max}}{\omega_{max}} = \frac{10}{\omega_0} = \frac{10}{314,15} = 0.03183; \quad (3.30)$$

Тахогенератора:

$$K_{тг} = \frac{U_{тг.н}}{\omega_{тг.н}} = \frac{30}{418} = 0,0717; \quad (3.31)$$

Загальний коефіцієнт передачі зворотного зв'язку за струмом:

					2410 ДП.ОА-71-02 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

$$k_i = \frac{U_{oc.max}}{I_{dmax}} = \frac{10 \cdot K_M}{M_H} = \frac{10 \cdot 1.79747}{71} = 0.25316; \quad (3.32)$$

Параметри ПІ-регулятора струму:

$$T_1 = T_e = \frac{L_e}{R_e} = \frac{0.00912}{2.595} = 0.00351 \text{ с}; \quad (3.34)$$

$$T_2 = \frac{a_c T_\mu k_{TP} k_i}{R_e} = \frac{1 \cdot 0.01 \cdot 54 \cdot 0.25316}{2.595} = 0.05268 \text{ с}; \quad (3.35)$$

де $a_c = 1 \dots 4$, стандартні настройки регулятора струму.

Параметри П-регулятора швидкості:

Налаштування регулятора на номінальну швидкість:

$$a_{ш} = \frac{(\frac{10}{k_w} - \omega_H) \cdot J}{T_\mu \cdot M_H \cdot a_c} = \frac{(\frac{10}{0.03183} - 308.92) \cdot 0.145}{0.01 \cdot 71 \cdot 1} = 1.07014 \text{ с}; \quad (3.36)$$

Коефіцієнт пропорційності регулятора:

$$K_{ar} = \frac{k_i J}{a_{ш} a_c T_\mu k_M k_w} = \frac{0.03183 \cdot 0.145}{1.07014 \cdot 1 \cdot 1.79747 \cdot 0.0318} = 59.9542 \quad (3.37)$$

На вході структурної схеми передбачено встановлення задатчика інтенсивності 1-го порядку. Особливістю його є, з одного боку, плавний лінійний перехід на потрібну швидкість, а з іншого – завжди мають місце стрибкоподібні зміни динамічного моменту. Параметри задатчика інтенсивності 1-ого порядку:

$$k_1 = \frac{\varepsilon_{max}}{\omega_{max}} = \frac{440.68966}{314,15} = 1.40276; \quad (3.38)$$

Статичний момент насоса визначається наступною залежністю:

$$M_c(\omega) = M_{xx} - k_{п.р.} \cdot \omega + \beta \cdot \omega^2 \quad (3.39)$$

де, β – в'язкість рідини, що перекачується. При температурі 18°C та заданій мінералізації - $\beta = 0.00106 \text{ Н} \cdot \text{м} / \text{с}^2$. $k_{п.р.}$ – коефіцієнт, що характеризує нерівномірність потоку рідини, визначається при підстановці відомих значень робочого моменту (M_H) і швидкості (ω_H) в формулу (3.39). $k_{п.р.} = 0.0126304 \text{ с}^{-1}$; M_{xx} – момент холостого ходу, приймається в межах 5-10% від номінального.

$$M_{xx} = 0.1 M_H = 0.1 \cdot 71 = 7.1 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad (3.40)$$

3.3.3 Результати моделювання

Розглянемо моделювання установки, цикл роботи якої включає в себе такі етапи: розгін до номінальної швидкості та її підтримання; гальмування до 80%

					2410 ДП.ОА-71-02 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

від номінальної швидкості та робота при цій швидкості; гальмування до 20% ω_n та розгін номінальної швидкості; повна зупинка (рис 3.16).

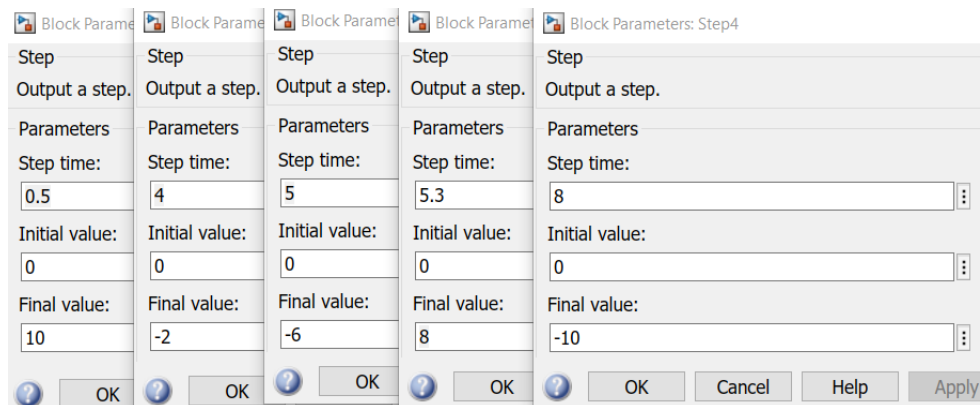


Рисунок 3.16 – Параметри задаючого пристрою

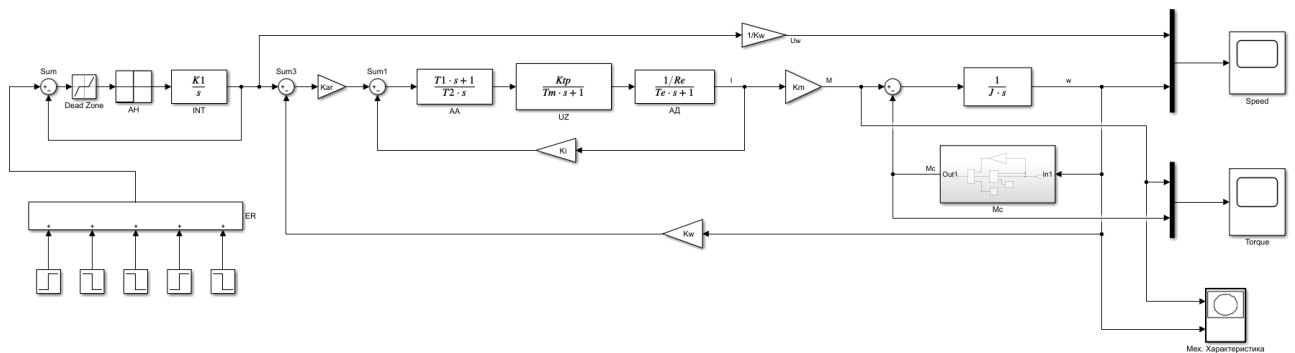


Рисунок 3.17 - Структурна схема системи ПЧ-АД-ВЦН з П-регулятором швидкості та ПІ-регулятором струму в середовищі Matlab Simulink

Model Explorer									
Contents of: Model Workspace* (and below)									
Filter Contents									
Column View: Data Objects Show Details 14 object(s)									
Name	Value	DataType	Dimensions	Complexity	Min	Max	Unit	Argument	S
J	0.145	double (auto)	[1 1]	real					AU
K1	1.40276	double (auto)	[1 1]	real					AU
Kar	59.9542	double (auto)	[1 1]	real					AU
Ki	0.25316	double (auto)	[1 1]	real					AU
Km	1.79747	double (auto)	[1 1]	real					AU
Ktp	54	double (auto)	[1 1]	real					AU
Kv	0.00106	double (auto)	[1 1]	real					AU
Kw	0.03183	double (auto)	[1 1]	real					AU
Mxx	7.1	double (auto)	[1 1]	real					AU
Re	2.595	double (auto)	[1 1]	real					AU
T1	0.00351	double (auto)	[1 1]	real					AU
T2	0.05268	double (auto)	[1 1]	real					AU
Te	0.00351	double (auto)	[1 1]	real					AU
Tm	0.001	double (auto)	[1 1]	real					AU

Рисунок 3.18 – m-файл параметрів блоків та елементів моделі ПЧ-АД в середовищі SIMULINK

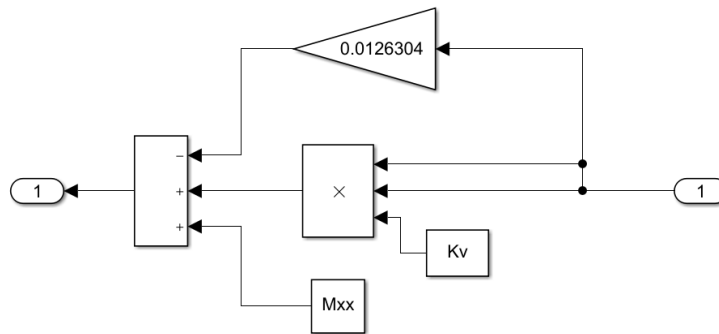


Рисунок 3.19 – Параметри підсистеми M_c

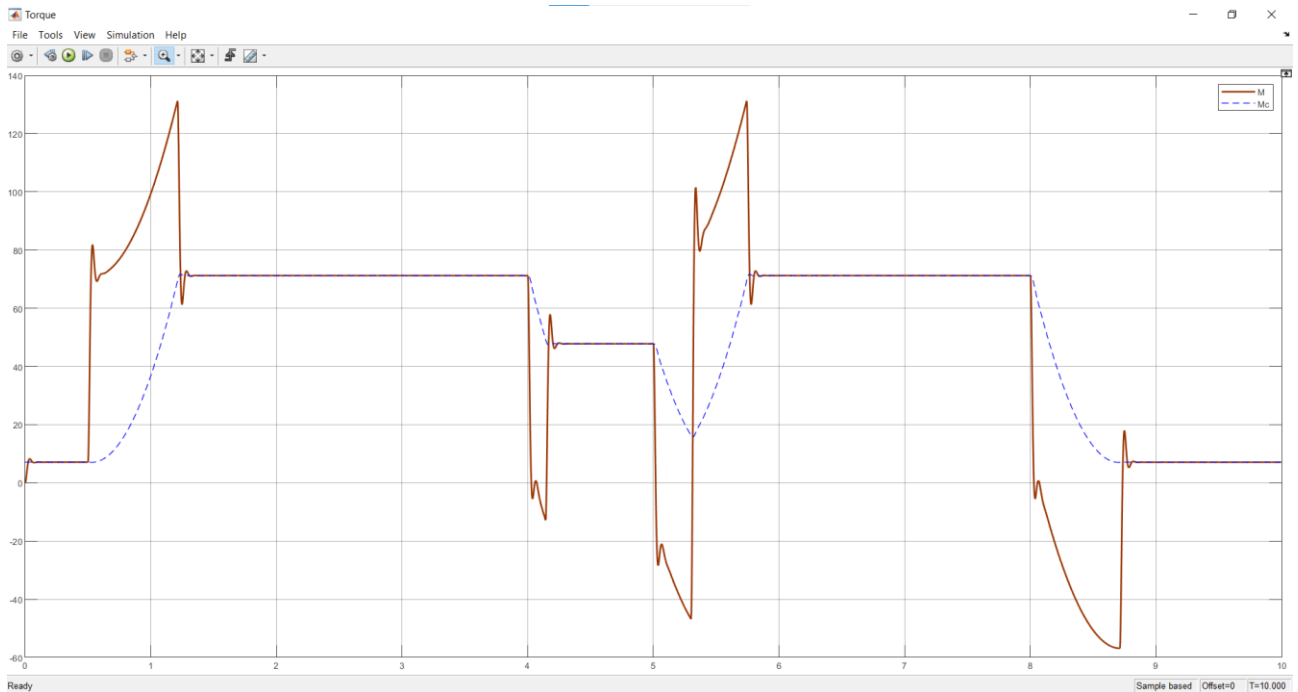


Рисунок 3.20 –Графік перехідних процесів по моменту на валу установки та статичного моменту (Нм)

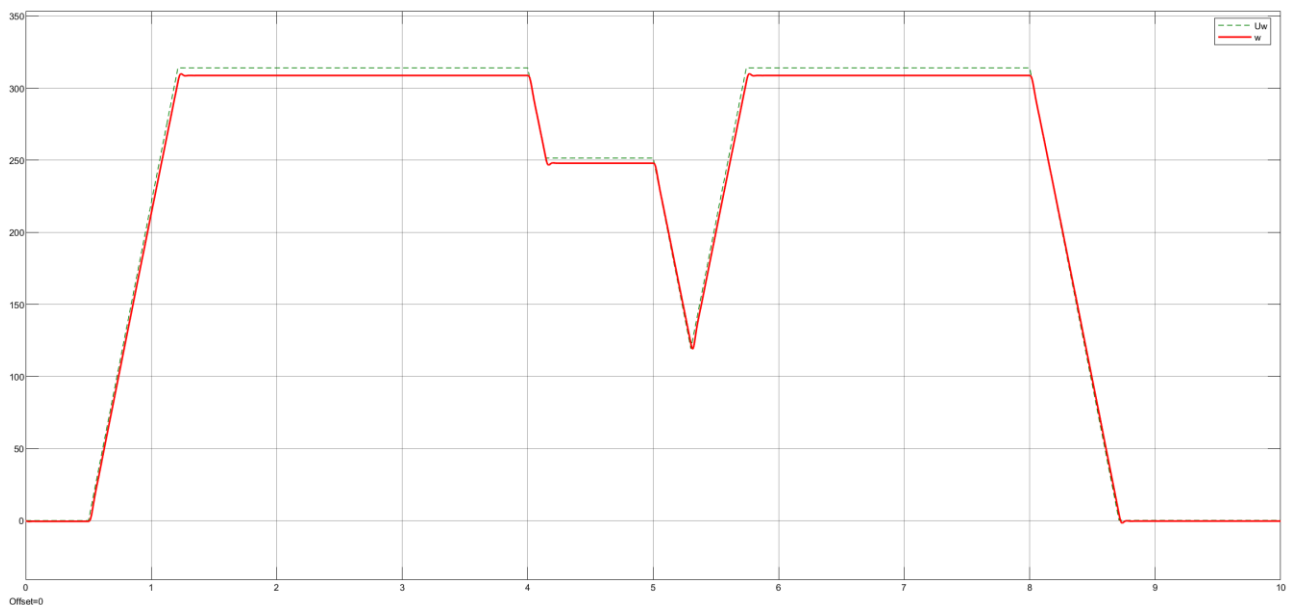


Рисунок 3.21 – Графік перехідних процесів по швидкості на валу установки та статичного моменту (рад/с)

Аналізуючи дані графіки можемо зробити наступні висновки: пуск і гальмування системи по швидкості відбувається плавно згідно заданої швидкості. По моментові з'являються пульсації (+/-0.03Нм) при постійному статичному моменту, а при пуску та гальмуванні відбуваються значні викиди динамічного моменту, але менші ніж максимально допустимий момент. Тому установка добре відпрацьовує заданий алгоритм при усталених режимах і перехідних процесах.

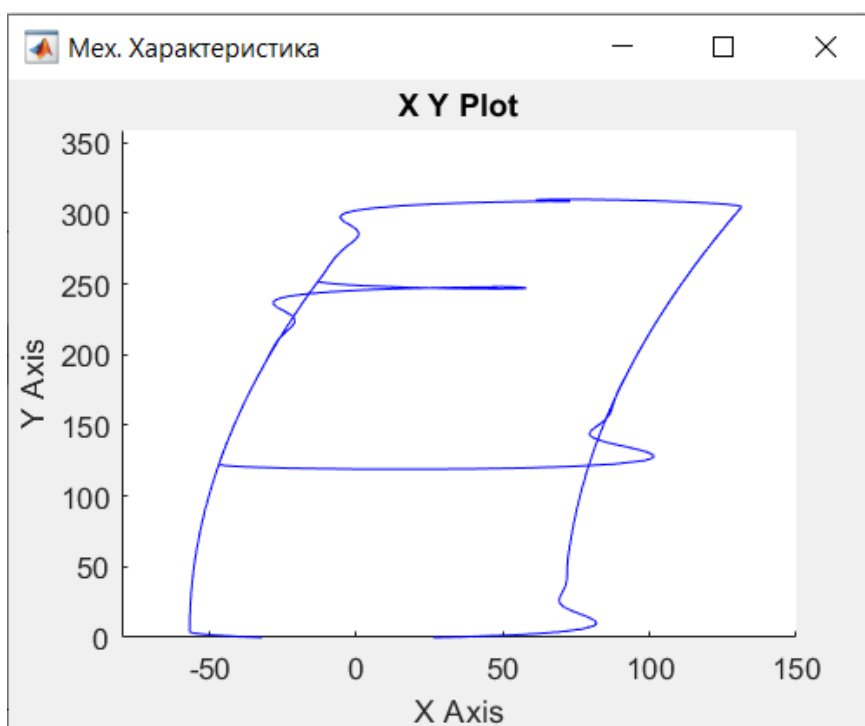


Рисунок 3.22 – Механічна характеристика системи (Вісь Y: рад/с, вісь X - Нм)

3.4 Побудова напірних характеристик роботи насосної станції

3.4.1 Особливості побудови характеристик роботи установки

У разі відсутності впливу кавітації на роботу насоса зміна частоти обертання електродвигуна буде супроводжуватися зміною характеристик насоса відповідно до законів подібності:

Продуктивність Q пропорційна відношенню частоти обертання

$$Q_2 = Q_1 \cdot (n_2 / n_1); \quad (3.41)$$

Манометричний тиск H пропорційний відношенню частоти обертання в квадраті:

$$H_2 = H_1 \cdot (n_2 / n_1)^2; \quad (3.42)$$

Потужність N пропорційна відношенню частоти обертання в кубі:

$$N_2 = N_1 \cdot (n_2 / n_1)^3; \quad (3.43)$$

Вплив вхідного тиску на продуктивність установки. Тиск вихідної води, яка подається на зворотньоосмотичні (ЗО) мембрани, впливає як на питомий потік пермеата, так і на відведення концентрату від мембран. Як показано на рис. 3.23, питомий потік пермеата через мембрану збільшується в прямо

пропорційній залежності від підвищення тиску вихідної води. Зростання тиску вихідної води також призводить до підвищення солезатримки, але, як показано на рис. 3.23, ця залежність нелінійна. Оскільки мембрани зворотного осмосу є недосконалими бар'єрами для розчинених солей у вихідній воді, через мембрану завжди проходить певна кількість солей. З ростом тиску вихідної води цей прохід солей все більше і більше сповільнюється, оскільки вода проштовхується через мембрану з більшою швидкістю, ніж можуть транспортуватися солі.

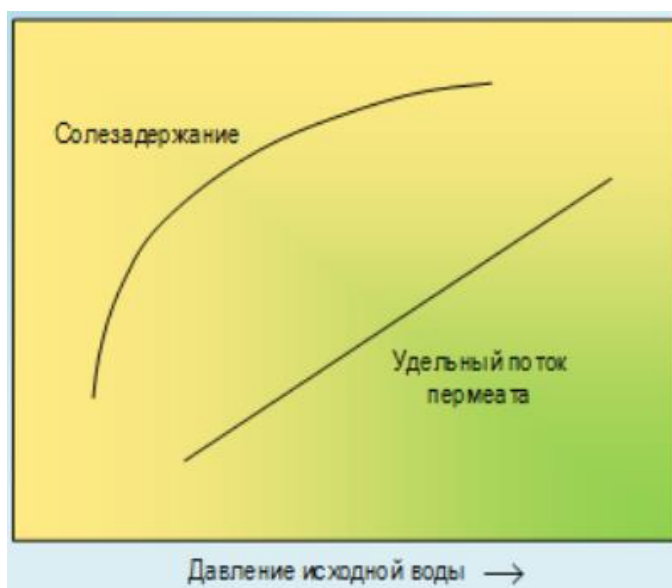


Рисунок 3.23 – Вплив тиску вихідної води на солезатримку і питомий потік пермеату

Існує певна межа для кількості солі, яка може бути затримана мембраною за рахунок підвищення тиску вихідної води. Це показує плато на кривій солезатримки (рис. 3.23): вище певного тиску прохід солей через мембрану практично не збільшується. Це говорить про те, що частина солей залишається пов'язаною з водою, що проходить через ГО-мембрану. Крім того, з ростом тиску вихідної води відбувається деяке стиснення (ущільнення) мембрани. Це також робить свій вплив на зниження питомого потоку пермеата, що проходить через мембрану.

Вплив температури вихідної води. Показники мембран виробники зазвичай приводять для стандартної температури 25°C (298°K). Як показано рис. 3.24, продуктивність мембран дуже чутлива до змін температури вихідної води. Коли температура води збільшується, питомий потік пермеата збільшується майже лінійно, в основному через більш високої швидкості дифузії води через мембрану. Залежність швидкості питомої потоку пермеата від температури описується через поправочний коефіцієнт температури - TCF (Temperature Correction Factor) через такий вираз:

$$TCF = e^{(K \cdot (1 / (273 + t) - 1 / 298))}; \quad (3.44)$$

де, K – характеристична постійна для матеріалу ЗО-мембрани, t - температура вихідної води в градусах Цельсія.

Для інженерних розрахунків можна використовувати наступну аксіому: на один градус зміни температури вихідної води зміна питомої швидкості потоку пермеата становить близько 3% від номінального значення.

З іншого боку, здатність мембран витримувати підвищені температури збільшує область їх застосування, а також вона важлива під час операцій очищення, оскільки дозволяє використовувати більш жорсткі і швидкі процеси очищення.

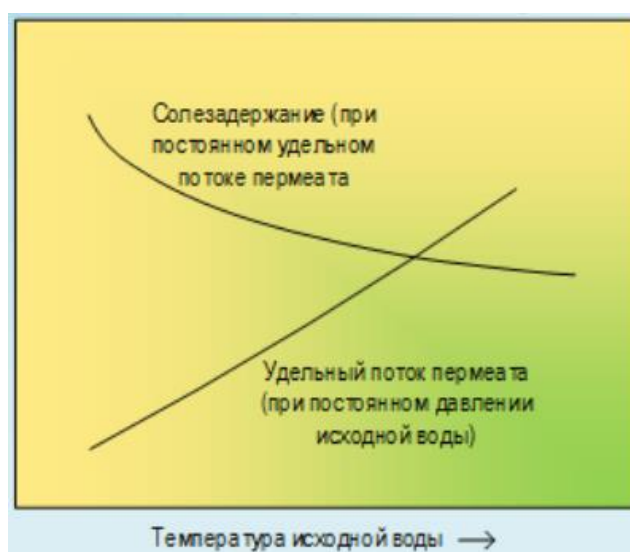


Рисунок 3.24 – Вплив температури вихідної води на питомий потік пермеату

Вплив мінералізації вихідної води. Осмотичний тиск залежить від типу і концентрації солей або органічних речовин, що містяться у вихідній воді. У міру збільшення концентрації солей збільшується і осмотичний тиск. Отже, тиск подачі вихідної води, необхідний для зміни природнього спрямування осмотичного потоку, в значній мірі визначається рівнем вмісту солі вихідної води. Рис. 3.25 показує, що при постійному тиску подачі вихідної води зростання концентрації солей у вихідній воді приводить до зниження питомої потоку пермеата, що проходить через мембрану. Тобто підвищення осмотичного тиску через зростання концентрації солей повинно компенсуватися робочим тиском вихідної води.

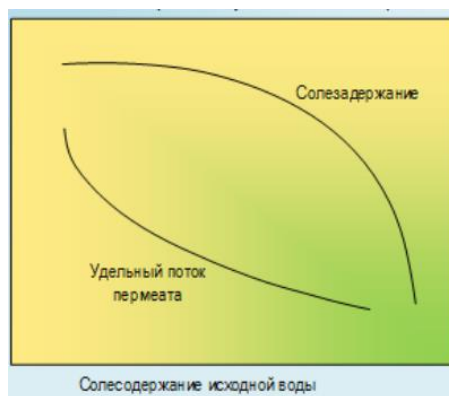


Рисунок 3.25 – Вплив мінералізації вихідної води на питомий потік пермеату

Тобто зміна тиску, температури чи мінералізації вихідної води приведе до зміни продуктивності установки. Оскільки вихід пермеату майже незмінний і становить 75%, то витрата вхідної води також прямопропорційна виходу пермеату. При побудові напірних характеристик при знаходженні робочих точок слід врахувати, що зміна вихідних параметрів води призведе до зміни перепаду тиску на мембранному елементу і як наслідок зміни опору мережі трубопроводу.

3.4.2 Побудова механічних характеристик для законів частотного регулювання

Механічні характеристики $M(s)$ будуються за формулою:

$$M(s) = \frac{\sqrt{3} \cdot U_1^2 \cdot r_2'}{\omega_0 \cdot s \cdot \left(\left(r_1 + \frac{r_2'}{s} \right)^2 + x_k^2 \right)}; \quad (3.45)$$

Врахуємо, що ковзання визначається як відносна різниця швидкості ідеального холостого ходу і фактичної швидкості:

$$s = \frac{n_0 - n}{n_0} \quad (3.46)$$

Слід зазначити, що при зміні живлячої частоти змінюється й індуктивний опір двигуна та швидкість холостого ходу (3.19), оскільки він пропорційний частоті:

$$x_k = 2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot L_e \quad (3.47)$$

Підставимо формули (3.47) та (3.46) в формулу (3.45) та отримуємо залежність моменту на валу від швидкості обертання та при різних частотах:

$$M(n) = \frac{\sqrt{3} \cdot U_1^2 \cdot r_2'}{2\pi f_1 \cdot (60f_1 - n) \cdot \left(\left(r_1 + \frac{60f_1 \cdot r_2'}{60f_1 - n} \right)^2 + (2\pi f_1 L_e)^2 \right)}; \quad (3.48)$$

Для скалярного управління турбомеханізмами використовуються два основні закони частотного регулювання: закон Костенка (рис. 3.26) - $U/f = \text{const}$ та квадратичний закон (рис 3.27) $U/f^2 = \text{const}$. Розглянемо характеристики при частотах 50, 40, 25 та 10 Гц. В нашому випадку (для номінальної напруги 400В та частоти мережі 50Гц) для закону Костенка - $U_1 = 8f_1$, для квадратичного - $U_1 = 0.16f_1$. Статичний момент на валу розраховується за формулою (3.39). Будуємо характеристики двигуна за формулою (3.48), задаючись значеннями ковзання від 0 до 1 з кроком 0,01 в середовищі MathCAD:

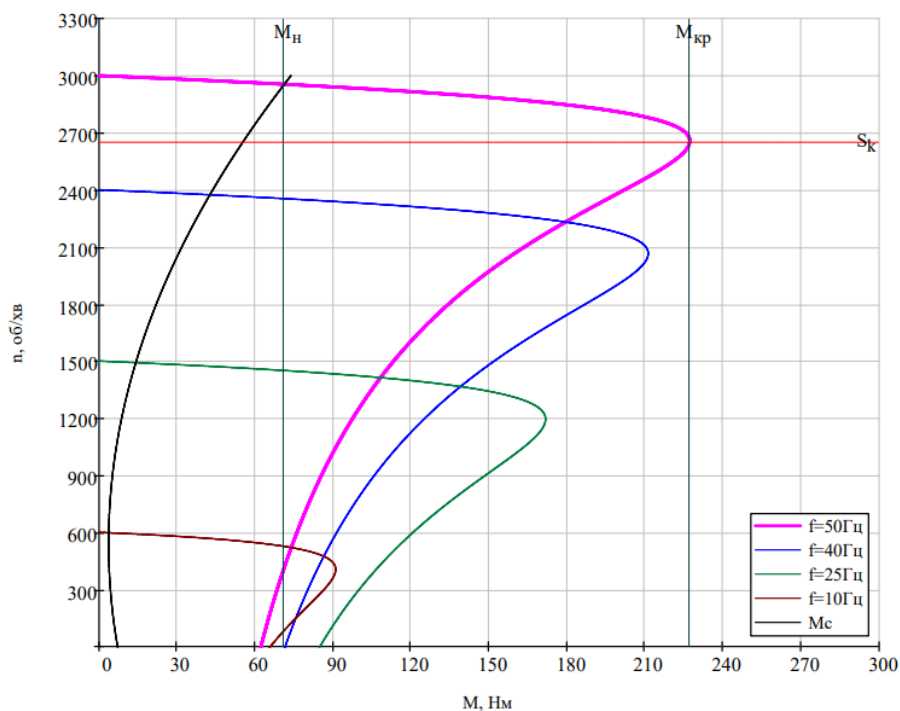


Рисунок 3.26 – Характеристики двигуна MG180 при одночасній зміні частоти мережі та напруги

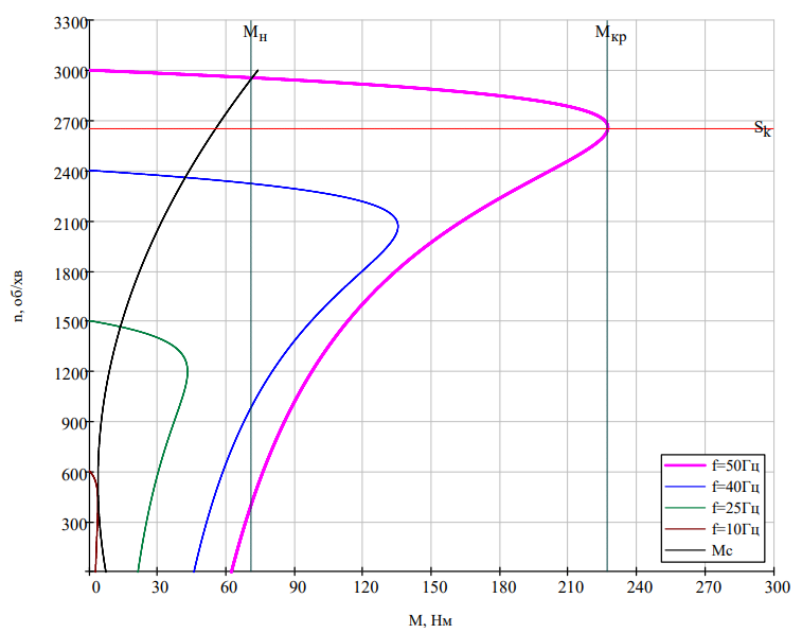


Рисунок 3.27 – Характеристики двигуна при квадратичному законі регулювання

Слід зазначити, що для наш тип двигуна має підвищений пусковий момент, завдяки спеціальній конструкції ротора і реальні механічні характеристики будуть подібні наступному вигляду (Рис. 3.28).

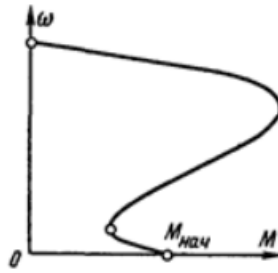


Рисунок 3.28 – Механічні характеристики двигуна з підвищеним M_n

Для регулювання характеристик використаємо закон Костенка - $U/f = \text{const}$, так як він має хороші енергетичні показники.

Критичний момент:

$$M_{кр} = M_n \cdot \lambda = 0.01667 \cdot 71 = 227.2 \quad (3.48)$$

Побудуємо напірні характеристики мережі та насосу. Для початку знайдемо гідравлічний опір мережі, задаючись робочою точкою:

$$R = \frac{H_n - H_r}{Q_p^2} = \frac{103.9 - 2}{64^2} = 0.024878 \quad (3.49)$$

де, H_r - геометрична висота підйому води, задана в вихідних і рівна 2м.

Тоді характеристику мережі побудуємо за формулою:

$$H(Q) = H_r + R \cdot Q^2 = 2 - 0.024878 \cdot Q^2 \quad (3.50)$$

Для побудови характеристика насоса необхідно задатись 8 точками при номінальній частоті з заводських графіків (рис. 1.13) та враховуючи залежність подачі від напору (3.51) і використовуючи апроксимацію в середовищі MathCAD отримаємо характеристику нашого насосу при врахуванні вхідного в насос тиску 2 бар (3.52).

$$H(Q) = H_0 + a \cdot Q - b \cdot Q^2 \quad (3.51)$$

де, H_0, a, b – коефіцієнти полінома.

$$H_{50}(Q) = 105.4964 + 20 + 0.1935 \cdot Q - 8.5114 \cdot 10^{-3} \cdot Q^2 \quad (3.52)$$

Використовуючи теорію подібності (3.41) та (3.42) отримаємо формулу напірну характеристику для різних частот:

$$H_f(Q) = 20 + 105.4964 \cdot \frac{f^2}{f_1^2} + 0.1935 \cdot Q \cdot \frac{f}{f_1} - 8.5114 \cdot 10^{-3} \cdot Q^2 \quad (3.53)$$

					2410 ДП.ОА-71-02 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		86

$$H_{40}(Q) = 20 + 67.5177 + 0.1548 \cdot Q - 8.5114 \cdot 10^{-3} \cdot Q^2$$

$$H_{25}(Q) = 20 + 26.3741 + 0.0967 \cdot Q - 8.5114 \cdot 10^{-3} \cdot Q^2$$

$$H_{10}(Q) = 20 + 4.2199 + 0.0387 \cdot Q - 8.5114 \cdot 10^{-3} \cdot Q^2$$

Згідно даних характеристик і характеристики мережі будуюмо напірні характеристики (рис. 3.29) при частотному регулюванні. На характеристиці вказуємо межі оптимального регулювання дроселюванням, адже одночасне використання цих двох методів регулювання дозволяє розширити діапазон регулювання. Також врахуємо, що мембранні елементи не будуть працювати при тиску меншому ніж 1,58 бар при заданій температурі і мінералізації. Проте внаслідок подачі на вхід насоса води під тиском 2 бар нівелює цю границю.

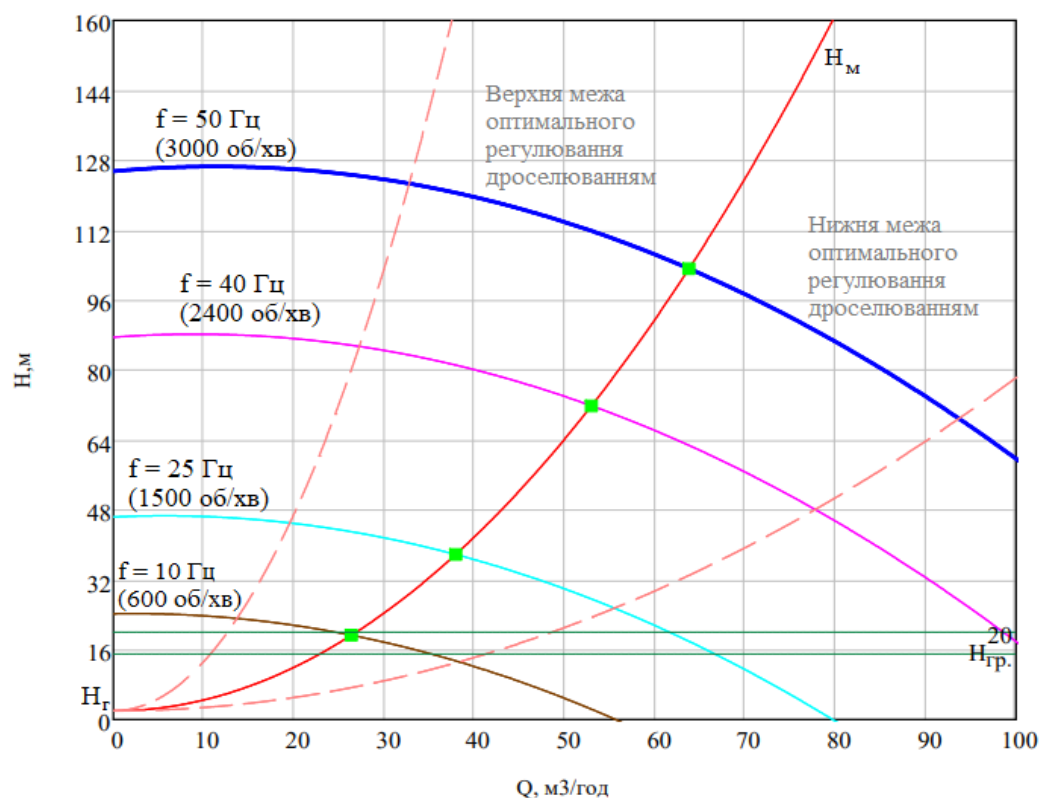


Рисунок 3.29 – Напірні характеристики установки

4. Автоматизація

4.1 Вибір системи автоматизації та пристроїв регулювання

Система містить у своєму складі чотири реле високого тиску (5В), поплашкове реле рівня води (5В), поплашкове реле рівня антискаланта (24 В≈), два датчики електропровідності, сім манометрів панельних, два ротаметри, датчик температури (рис 4.1)

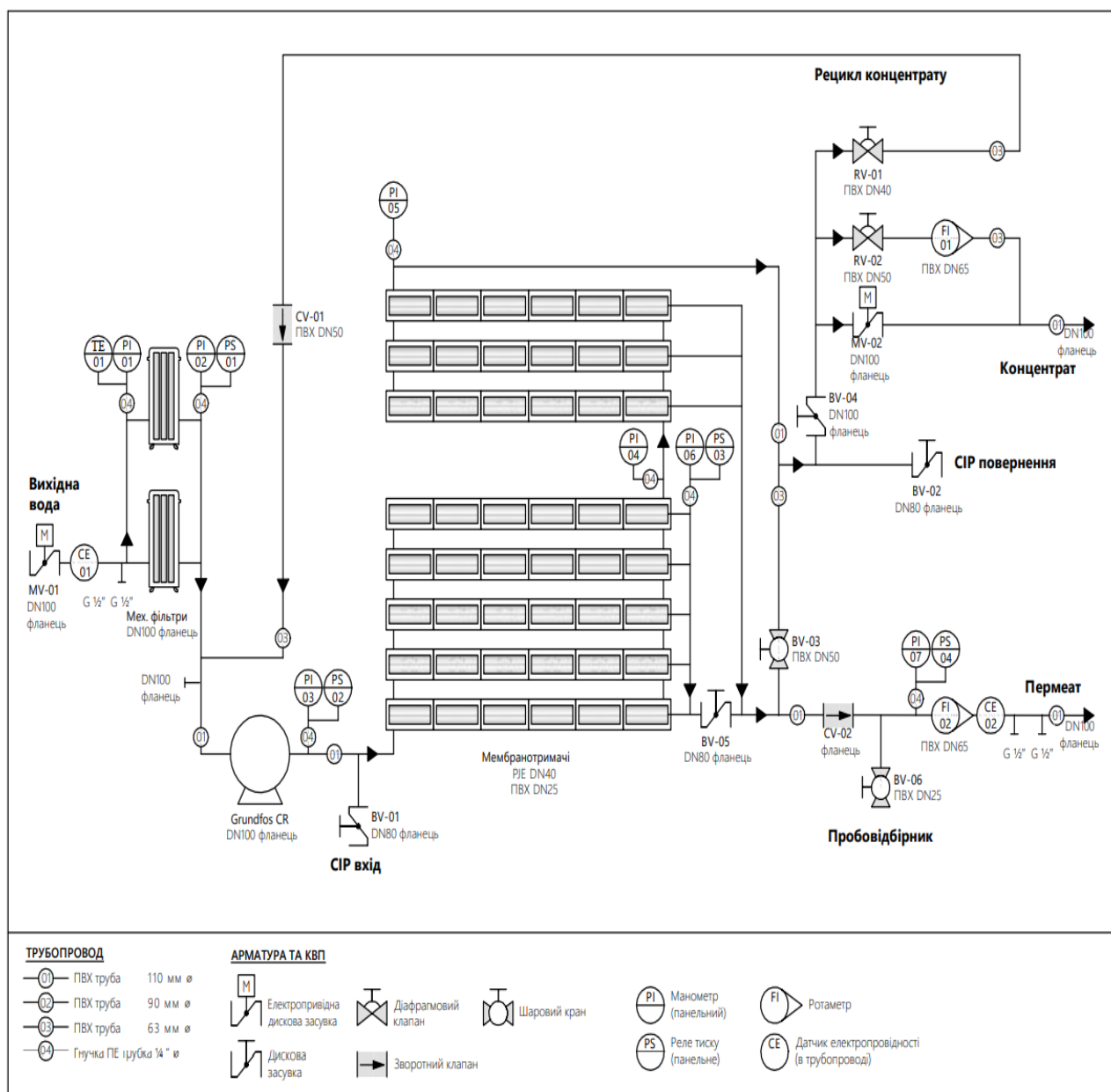


Рисунок 4.1 – Схема встановлення датчиків в системі

					2410 ДП.ОА-71-02 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Автоматизація Літ. Арк. Аркуші 93 114 «КПІ ім. Ігоря Сікорського» ІЕЕ		
Розроб.		Горобець А.М.					
Перевір.		Чермалих О.В.					
Реценз.							
Н. Контр.		Смоляр В.Г.					
Затверд.		Розен В.П.					

Для досягнення найбільшого енергозбереження та повної автоматизації опріснення води доцільно використати систему центрально керування з використанням контролера зворотнього осмосу ОС-6000, датчиками тиску та електропровідності. Всі операції виконуються за допомогою пульта або через комп'ютер, що дозволяє виконувати налаштування навіть людям без необхідної кваліфікації.

Таблиця 4.1 – Склад базового обладнання системи автоматизації

Найменування	Опис	Кількість
ОС 6000EN	Контролер для системи зворотнього осмосу	1
Grundfos PM2	Реле низького тиску, 5В	1
Grundfos PM2	Реле високого тиску, 5В	2
	Поплавкове реле рівня води, 5В	1
	Поплавкове реле рівня антискаланта, 24 В $\approx$	3
TDTR015	Трансформатор 15 Вт 230/24 В	1
C4P1	Автомат С4 1-полюсний	1
RM845230	Реле мініатюрне, 230 В $\approx$	4
RM845024AC	Реле мініатюрне, 24 В $\approx$	1
PMV50A575	Реле контролю фаз	1
MB320A	Автомат. вимикач захисту двигуна	1
CM-203	Датчик електропровідності	2
Belimo H6100N	Електроприводний клапан	3
BCT110	Датчик тиску	7
VFI/5.2-104m	Ротаметр (датчик потоку)	2

4.1.1 Вибір датчиків тиску та температури

Датчики тиску на виході насоса, мембран і виходу установки (загалом 5 датчиків), обираємо за умови, що верхнє значення діапазону тиску який може вимірювати датчик був не менше максимального значення тиску установки (16 бар). Згідно цього обираємо датчик перепаду тиску серії Grundfos DPI/---0-16b/2/ C/M2.00-X/EG6/-B/02B/SD-1, з межами вимірювання 0...16 бар, діапазон

температури рідини -30...120°C.

На вхід установки встановлюємо датчик тиску, що розрахований на максимальний напір вихідної мережі – 4 бар. Вибираємо датчик DPI/--0-4.0b/2/F/M2.00-X/EG6/-B/02B/SD-1, який також дозволяє вимірювати температуру в межах 0...100°C на вході установки.



Рисунок 4.2 – Зовнішній вигляд датчика тиску і температури

Перетворювачі тиску призначені для вимірювання тиску в рідких або газоподібних середовищах, в гідравлічних, пневматичних системах, машинах і установках, а також в технологічному обладнанні.

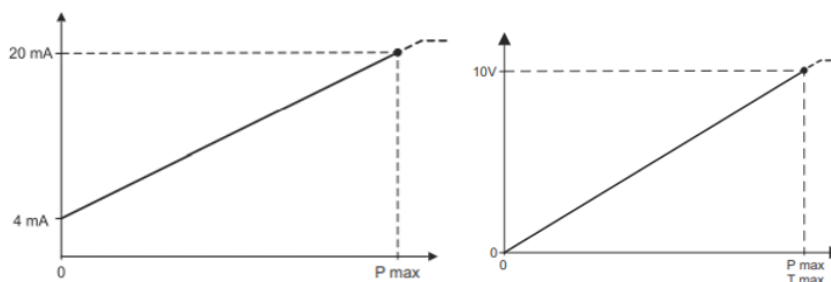


Рисунок 4.3 – Вихідний сигнал датчику

Мембрана з нержавіючої сталі повністю герметична, водонепроникна, забезпечує підвищену вибухонебезпечність і може використовуватися з усіма стандартними середовищами. Є можливість вибору різних роз'ємів підключення і кабельних з'єднань. Ступінь захисту датчиків - IP67. Покази датчиків виводяться на панель SITRANS FM Modbus RTU. Трубне з'єднання G 1/4", вихідний сигнал по температурі і тиску – 0...10В, 4-20 мА, максимальна

					2410 ДП.ОА-71-02 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		90

потужність 0.27 Вт, напруга живлення 16.6-30 В.

Показники датчиків тиску необхідні для автоматичного регулювання режимів роботи установки та діагностуванні стану обладнання.

4.1.2 Вибір датчиків потоку та електропровідності

Датчики потоку (ротатометр або витратомір) обираються згідно максимальної подачі в місці їх встановлення, та перевіряємо датчики по перерізу труби та робочому тиску. Показники датчиків тиску використовуються для регулювання та контролю режимів роботи установки.

Встановлюємо датчик на трубопроводі виходу пермеату та концентрату. Максимальна продуктивність при мінімальній мінералізації та температурі води згідно рис. 1.10 - 65 м³/год. Обираємо датчик потоку VFI/5.2-104m/1/C/M5.00-X/VG6/SS/33F/AC-1 (рис. 4.4) з параметрами: Розмір фланця - DN 65; діапазон вимірів – 5.2 - 104 м³/год, точність вимірювань – 0.13 м³/год, допустимий тиск – 28 бар, вихідний сигнал – 4-20мА (рис. 4.5), максимальна спожита потужність – 0.66 Вт.



Рисунок 4.4 – Зовнішній вигляд датчика витрат рідини

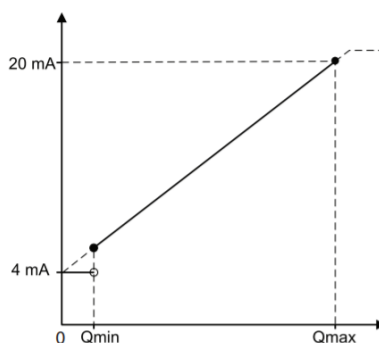


Рисунок 4.5 – Сигнал витрат рідини

					2410 ДП.ОА-71-02 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		91

На таких елементах системи, як механічний фільтр, насос, мембранні елементи та вихід установки встановлюємо реле тиску Grundfos PM2. Воно використовується для управління насосом по споживанню води і/або зниження тиску води в системі. При наявності споживання води і зниженні тиску до встановленого (від 1,5 до 5 бар), наприклад при падінні тиску на елементах вище допустимого, реле дає сигнал на включення насоса, при припиненні розбору води реле відключає насос.

Реле тиску Grundfos PM2 також виконує функцію захисту від «сухого ходу», що дозволяє відключити насос при відсутності вихідної води. На пристрої передбачена індикація живлення, роботи і аварії, фактичного тиску в мережі, а також кнопка перезапуску. Робочий струм установки – до 10 А, напруга – 230В, максимальна температура води - 40°C



Рисунок 4.6 – Зовнішній вигляд реле тиску

Згідно робочого тиску обираємо датчик провідності СМ-203 (рис. 4.7). Кондуктометр призначений для вимірювання електропровідності води в системах зворотного осмосу (електропровідність води пропорційна кількості розчинених у ній солей. особливості. Діапазон вимірювання електропровідності: 0~19.99 μ S/cm, 0~199.9 μ S/cm (0.1cm – 1 електрод, автоматичний вибір діапазону); 0 ~ 19.99 μ S / cm, 0 ~ 199.9 μ S / cm, 0 ~ 1999 μ S/cm (1.0 cm-1 електрод); 0 ~ 199.9 μ S cm, 0 ~ 1999 μ S/cm, 0 ~ 19.99mS/cm (10cm-1 електрод). Вимірювальні

					2410 ДП.ОА-71-02 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		92

електроди: 1.0см - 1 пластиковий корпус, платиновий електрод, 1/2 дюйма різьбове з'єднання; 1.0см - 1 нержавіюча сталь, 1/2 дюйма різьбове з'єднання; 10.0см - 1 тефлон, платина, 3/4 дюйма різьбове з'єднання.

Характеристики пристрою: довжина кабелю: 5 метрів; робочий тиск: 0...1 МПа; робоча температура: 0...50 ° С; живлення: 220V ± 10%, 50Hz; споживана потужність: 2W

4.2 Вибір електроприводних клапанів

Для контролю впуску вхідної води, впуску пермеату для промивання, а також для скидання концентрату використовуються електроприводні крани. Управління ними здійснюється за допомогою контролера зворотнього осмосу.

Згідно перерізу трубопроводу (100мм) обираємо 3 електроприводні крани Belimo H6100N з параметрами: діаметр – 100мм, пропускна здатність – 145 м³/год, максимальний робочий тиск – 16 бар, двоходовий.. Клапан приводиться в дію електроприводом лінійної дії. Електропривод управляється стандартним аналоговим сигналом або за 3х-точкової схемою і пересуває конус клапана - робочий елемент - в положення, відповідне керуючому сигналу.



Рисунок 4.7 – Зовнішній вигляд електроприводного крану

Для керуванням клапаном обираємо двигун **Belimo LV24A-SZ-TPC** з параметрами: сигнал керування – 0.5..10В; напруга живлення – 24В постійного

					2410 ДП.ОА-71-02 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		93

струму, хід штока – 15 мм, швидкість руху штока – 150 мм/с, максимальні зусилля закриття двигуна – 500 Н, розрахункова потужність – 4,5 ВА, точність позиціонування – 5%.



Рисунок 4.8– Зовнішній вигляд електропривода

4.3 Параметри контролеру ОС 6000

Контролер ОС6000 призначений для автоматичного або ручного управління роботою зворотньоосмосних установок. Основні особливості ОС6000:

- підключення до Інтернету за допомогою GPRS і обмін даними з ECONNECT
- RODMS - особистий кабінет користувача для моніторингу і віддаленого управління
 - оновлення програмного забезпечення онлайн (ОТА-оновлення)
 - моніторинг якості вихідної води і пермеата
 - SMS-оповіщення про аварії системи зворотного осмосу
 - можливість промивання вихідною водою і пермеат, а також скидання некондиційного пермеата при старті системи
- універсальне електроживлення (90-250 В, 50/60 Гц) з зовнішнім блоком живлення

					2410 ДП.ОА-71-02 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		94

- можливість підключення зовнішньої GSM-антени для посилення сигналу

Контролер ОС6000 забезпечує:

- автоматичне включення і відключення установки по сигналу датчика рівня в збірнику пермеата або тиску в лінії пермеата з попередньої гідравлічної промиванням

- аварійне відключення установки за сигналами датчиків сухого ходу, надлишкового тиску в модулі

- відключення установки по зовнішньому сигналу «СТОП»

- періодичну гідравлічну промивку мембран в режимах виробництва і очікування

- постійний контроль електропровідності і температури вихідної води і пермеата при використанні комбінованих датчиків, що входить в комплект поставки системи зворотного осмосу

- вимірювання витрати та виробленого обсягу пермеата

- відстеження ресурсу до сервісного обслуговування за часом роботи і зробленому обсягом пермеата

Контролер також підтримує наступні функції:

- підключення як NO, так і NC датчиків тиску і рівня;

- автоматичне коректування свідчень електропровідності пермеата від його температури;

- можливість аварійного відключення установки по перевищенню показань електропровідності пермеата;

- проста калібрування датчика електропровідності по двох точках;

- захист меню налаштувань, калібрувань і сервісу відповідними паролями, можливість зміни паролів;

- можливість відключення установки автоматично через певний час напрацювання з оповіщенням користувача

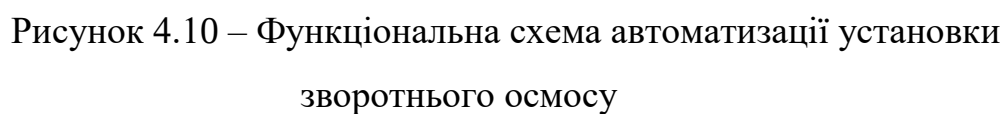
					2410 ДП.ОА-71-02 ПЗ	Арк.
						95
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблица 4.2 – Основні параметри контролера ОС-6000

ЭЛЕКТРОПИТАНИЕ	
Рабочее напряжение питания ОС6000	24 VDC (6–36 VDC)
Электропитание блока питания	90–250 В, 50/60 Гц
Потребляемая мощность (без нагрузки)	≤ 8 Вт
Потребляемая мощность (в режиме энергосбережения)	≤ 500 мВт
МОДЕМ	
Тип модема	4-диапазонный GSM/GPRS
Частотные диапазоны	850/900/1800/1900 МГц
Тип мобильной сети	2G
Функциональность	GPRS класс 12: до 85,6 кб/с, SMS
Совместимость с GSM phase 2/2+	Класс 4 (2 Вт при 850/900 МГц), Класс 1 (1 Вт при 1800/1900 МГц)
ИНТЕРФЕЙС	
Тип дисплея	Полноцветный TFT
Размер экрана	2,8", 3×4
Разрешение экрана	240×320
Клавиши	СТОП, ВВЕРХ, ВНИЗ, МЕНЮ
Поддержка языков	Встроенная
РЕЗЕРВНОЕ ПИТАНИЕ	
Тип источника резервного питания	Li-Ion аккумулятор, 4,2 В
Емкость источника резервного питания	≤ 1800 мА·ч
Продолжительность работы от источника резервного питания	не менее 48 ч
Зарядное устройство источника резервного питания	встроенное
Максимальный ток зарядки	500 мА
Температурный диапазон зарядки	5–35 °C
Защита от глубокого разряда	3,2 В
Питание часов реального времени	CR2032
Время работы часов реального времени при отсутствии внешнего питания	350 дней
ГАБАРИТЫ И РАБОЧИЕ ПАРАМЕТРЫ	
Рабочий диапазон температур	5–35 °C
Тип корпуса	IP65
Габариты в корпусе, мм	200 × 120 × 80
Вес, г	≤ 400



Рисунок 4.9 – Зовнішній вигляд плати ОС 6000



5. Охорона праці

Змістом розділу охорони праці є безпека експлуатації та обслуговування обладнання насосної станції опріснення води зворотнім осмосом, аналіз умов праці інженерів-електромеханіків при обслуговуванні і діагностуванні установок, а саме: виявлення шкідливих і небезпечних факторів виробничого середовища і порівняння їх з діючими нормативами, розробка заходів, націлених на утворення умов праці, що відповідають вимогам усіх норм і стандартів з охорони праці.

5.1 Аналіз умов праці

Робоче місце двох інженерів-електромеханіків знаходиться в рубці керування розміром 4х4м, що в свою чергу розташована в майстерні розміром 15х9м. В майстерні знаходяться 3 насосні установки потужністю 22кВт їх обладнання автоматизації та управління, розподільчий щиток та автоматика.

Працівник має відслідковувати показники обладнання на моніторі в рубці керування та періодично проводити зовнішнє діагностування насосного устаткування: перевіряти стан механічних фільтрів, герметичність установки і виявляти будь які механічні пошкодження апаратури.

Показниками, що характеризують мікроклімат у виробничих приміщеннях згідно з ДСН 3.3.6.042-99 [1] є: температура повітря; температура поверхонь; відносна вологість повітря; швидкість руху повітря; інтенсивність теплового опромінення.

До основних шкідливих і небезпечних факторів умов праці даного підприємства можна віднести:

- устаткування, яке живиться від електричної мережі;
- робота з устаткуванням, що знаходиться під високим тиском (насоси високого тиску);
- шум і вібрація;

					2410 ДП.ОА-71-02 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Охорона праці		
Розроб.		Горобець А.М.					
Перевір.		Козлов С.С.					
Реценз.							
Н. Контр.		Смоляр В.Г.					
Затверд.		Розен В.П.					
					Літ.	Арк.	Архувів
						98	112
					«КПІ ім. Ігоря Сікорського» ІЕЕ		

- нерівномірність освітлення, високе значення вологості повітря та інші невідповідності мікрокліматичним умовам.

- корозія обладнання, яка викликана впливом навколишнього середовища та метеорологічними умовами.

Таблиця 5.1 – Аналіз потенційно небезпечних виробничих факторів

Джерела небезпеки		Характеристика небезпечних виробничих факторів
Майстерня	Шум	Діючий рівень звукового тиску: $L_p = 89$ дБ(А)
	Вібрація	Значення віброшвидкості: 2,8 мм/с
	Обертові частини $n = 2947$ об/хв Електрична частина: $U = 0.4$ кВ, $I = 38$ А, $f = 50$ Гц,	Можливість механічних травм. Можливість ураження електричним струмом.

5.1.1 Оптимальні та допустимі умови мікроклімату

Оптимальні параметри мікроклімату на робочих місцях повинні відповідати величинам, наведеним у ДСН 3.3.6.042-99, стосовно до виконання робіт різних категорій у холодний і теплий періоди року, табл 5.2.

Таблиця 5.2 – Оптимальні величини показників мікроклімату на робочих місцях виробничих приміщень

Період року	Категорія робіт з рівня енерговитрат, Вт	Температура повітря, °С	Відносна вологість повітря, %	Швидкість руху повітря, м/с
Холодний	Ia (до 139)	22-24	60-40	0,1
	Iб (140-174)	21-23	60-40	0,1
	IIa (175-232)	19-21	60-40	0,2
	IIб (233-290)	17-19	60-40	0,2
	III (більше 290)	16-18	60-40	0,3
Теплий	Ia (до 139)	23-35	60-40	0,1
	Iб (140-174)	22-24	60-40	0,1
	IIa (175-232)	20-22	60-40	0,2
	IIб (233-290)	19-21	60-40	0,2
	III (більше 290)	18-20	60-40	0,3

Допустимі мікрокліматичні (табл. 5.3) умови встановлені за критеріями

припустимого теплового й функціонального стану людини на період 8-годинної робочої зміни. Вони не викликають ушкоджень або порушень стану здоров'я, але можуть приводити до виникнення загальних і локальних відчуттів теплового дискомфорту, напрузі механізмів терморегуляції, погіршенню самопочуття й зниженню працездатності.

Таблиця 5.3 – Допустимі величини температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень

Період року	Категорія робіт	Температура, ° С				Відносна вологість (%) на робочих місцях - постійних і непостійних	Швидкість руху (м/сек.) на робочих місцях - постійних і непостійних
		Верхня межа		Нижня межа			
		На постійних робочих місцях	На непостійних робочих місцях	На постійних робочих місцях	На непостійних робочих місцях		
Холодний період руху	Легка Іа	25	26	21	18	75	не більше 0,1
	Легка Іб	24	25	20	17	75	не більше 0,2
	Середньої важкості Іа	23	24	17	15	75	не більше 0,3
	Середньої важкості Іб	21	23	15	13	75	не більше 0,4
	Важка ІІІ	19	20	13	12	75	не більше 0,5
Теплий період року	Легка Іа	28	30	22	20	55 - при 28° С	0,2 - 0,1
	Легка Іб	28	30	21	19	60 - при 27° С	0,3 - 0,1
	Середньої важкості Іа	27	29	18	17	65 - при 26° С	0,4 - 0,2
	Середньої важкості Іб	27	29	15	15	70 - при 25° С	0,5 - 0,2
	Важка ІІІ	26	28	15	13	75 - при 24° С і нижче	0,6 - 0,5

В табл. 5.4 наведемо параметри мікроклімату робочого місця працівників в холодний і теплий період року, враховуючи що категорія робіт інженера-електромеханіка даного підприємства – середньої тяжкості Іа і робоче місце постійне.

Таблиця 5.3 – Мікроклімат робочої зони

Дата вимірювань	Температура, t, °C			Відносна вологість, W, %		
	Фактичне значення	Оптимальне значення	Допустиме значення	Фактичне значення	Оптимальне значення	Допустиме значення
19 листопада	19	19-21	17-23	62	40-60	75
17 грудня	17			65		
20 січня	17			68		
10 квітня	19	21-23	27-18	63	40-60	65
12 травня	22			60		
30 травня	24			61		

5.1.2 Освітлення

Наведемо основні положення про освітлення виробничих приміщень з ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення» [2].

Освітлення приміщень виробничих і складських будинків:

1. Для освітлення приміщень варто використовувати, як правило, найбільш економічні розрядні лампи. Використання ламп накаливання для загального освітлення допускається тільки у випадку неможливості або техніко-економічної недоцільності використання розрядних ламп.

Для місцевого освітлення крім розрядних джерел світла варто використовувати лампи накаливання, у тому числі галогенні.

2. Освітленість робочої поверхні, створювана світильниками загального освітлення в системі комбінованого, повинна становити не менш 10% нормованої для комбінованого освітлення при тих джерелах світла, які застосовуються для місцевого освітлення.

3. Для місцевого освітлення робочих місць варто використовувати світильники з непросвічуючими відбивачами. Світильники повинні розташовуватися таким чином, щоб їхні елементи, що світять, не попадали в поле зору працюючих на освітлюваному робочому місці й на інших робочих місцях.

На робочому місці електромеханіка освітлення комбіноване (природне і штучне). Природне освітлення являється бічним. Використовуються лампи накаливання Б220-100. Детальні розрахунки наведені в п 2.2.1 даного дипломного проєкту. Всі норми освітленості робочого місця виконуються.

5.1.3 Рівень шуму та вібрації на робочому місці

Шум являє собою сукупність звуків різноманітної частоти і інтенсивності. Джерелами шуму можуть бути коливання поверхонь тіл або самих тіл (механічний шум), нестаціонарні процеси в рідині або газі (аерогідродинамічний шум), змінні магнітні сили, що призводять до коливання робочих органів електричних машин і апаратів (електромагнітний шум) [3].

При експлуатації насосних станцій виникає постійний шум та вібрація

					2410 ДП.ОА-71-02 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		101

пов'язана з роботою електродвигуна та насосного агреату. Основними джерелами шуму на підприємстві є насоси CR 64-4-1, водопроводи та трансформаторна пістанція. Характеристикою постійного шуму на робочих місцях є рівні звукового тиску в дБ в октавних смугах із середньгеометричними частотами 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000 Гц, обумовлені по формулі:

$$L = 20 \lg P/P_0 \quad (5.1)$$

де P - середньоквадратична величина звукового тиску, Па; P_0 - вихідне значення звукового тиску в повітрі, рівне $2 \cdot 10^{-5}$ Па.

Рівень звуку на робочому місці складає 89 дБА.. Згідно з ДСН 3.36.037-99 для роботи з підвищеними вимогами до процесів спостереження та дистанційного керування виробничого циклу допустимий рівень звукового тиску складає 91 дБА при середньгеометричній частоті 63 Гц.

Зниженню шуму, який створюється на робочих місцях і проникає, досягається згідно з ГОСТ 12.1.003-83. «ССБП. Шум. Загальні вимоги безпеки» [4] різними методами: зменшення шуму в насосній установці (застосування малошумних підшипників), зменшення шуму на шляху його розповсюдження. акустична обробка рубки управління, раціональне планування підприємства, раціональна організація робіт, тощо.

Для забезпечення вібробезпечних умов праці зменшують вібрації на валу двигуна та застосовують динамічне гасіння коливань віброізоляцією. Ці заходи нормуються згідно з ГОСТ 12.1.012-90. «ССБП. Вібраційна безпека. Загальні вимоги» [5].

5.2 Електробезпека

На підприємстві знаходиться електрообладнання, що наведено в табл. 2.1. Рівень лінійної напруги – 0.4 кВ, а фазної – 0.23 кВ. Основні споживачі електричної енергії – двигуни змінного струму частотою 50 Гц. Головним нормативним документом в сфері електробезпеки, що використовується в даній роботі, є НПАОП 40.1-1.21-98 “Про затвердження Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів” [9].

					2410 ДП.ОА-71-02 ПЗ	Арк.
						102
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.2.1 Безпека експлуатації та обслуговування електродвигунів змінного струму

Основною небезпекою при обслуговуванні електродвигунів напругою 0,4 кВ, що працюють у мережі із заземленою нейтраллю є: небезпека однофазного дотику в нормальному й аварійному режимах до мережі напругою 0,4 кВ; небезпека двофазного дотику до мережі напругою 0,4 кВ; небезпека дотику до фазного й нульового провода мережі напругою 0,4 кВ. Для оцінки небезпеки необхідно розрахувати струми, які будуть проходити через людину в кожному із зазначених випадків.

При однофазному дотику до мережі напругою 0,4 кВ із заземленої нейтраллю струм, що проходить через людину, визначається по формулі:

$$I_{\text{л}} = \frac{U_{\text{ф}}}{R_{\text{л.}} + R_{\text{роб.заземл.}}}, \quad (5.2)$$

де $R_{\text{л.}} = 1,5 \text{ кОм}$ - опір кола людини до струму, що протікає при однофазному дотику; $R_{\text{роб.заземл.}} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ кОм}$ – опір робочого заземлення.

Оскільки $R_{\text{л.}} \gg R_{\text{роб.заземл.}}$, то опором робочого заземлення у формулі (5.2) можна знехтувати.

$$I_{\text{л}} = \frac{0,23}{1,5} = 0,153 \text{ А};$$

При двофазному дотику до мережі напругою 0,4 кВ струм, що проходить через людину, дорівнює:

$$I_{\text{л}} = \frac{U_{\text{л}}}{R'_{\text{л.}}} \quad (5.4)$$

де $R'_{\text{л.}} = 1 \text{ кОм}$ – опір кола людини до струму при двофазному дотику.

$$I_{\text{л}} = \frac{0,38}{1} = 0,38 \text{ А};$$

Аналіз отриманих даних показує, що при експлуатації електродвигунів напругою 0,4 кВ найбільший струм (0,38 А), що проходить через людину, буде при її дотику, до двох фаз електричної мережі.

Безпека експлуатації електродвигунів у нормальному режимі роботи

					2410 ДП.ОА-71-02 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		103

забезпечується наступними захисними мірами: ізоляцією струмоведучих частин, неприступністю струмоведучих частин, блокуванням безпеки.

При роботі, не пов'язаній з дотиком до струмоведучих частин електродвигуна або до обертових частин електродвигуна, необхідно зупинити електродвигун і на його пусковому пристрої або ключі керування повісити плакат "Не включати. Працюють люди". При роботі на електродвигуні напругою до 1000 В повинна бути знята напруга й виконано заземлення струмоведучих жил кабелю.

Кваліфікація персоналу, який самостійно виконує роботи по монтажу пристроїв з напругою до 1000В, повинна бути не нижчою III групи. При виконанні робіт на струмопровідних частинах, які знаходяться під напругою, необхідно:

1. Користуватись тільки сухими і чистими ізоляційними засобами з безпосереднім лаковим покриттям.
2. Держати ізоляційні засоби за ручки-захвати не далі обмежувального кільця.
3. Розміщувати ізоляційні засоби так, щоб не виникла небезпека перекриття по поверхні між струмопровідними частинами двох фаз чи на землю

5.3 Пожежна безпека

На насосній станції опріснення водиперебувають горючі ізоляційні матеріали, які можуть легко запалитися й стати причиною пожежі, а саме силові кабелі з паперовою ізоляцією, просоченим масло-каніфолевим складом, масляні вимикачі, пластикове покриття обладнання.

Причини виникнення пожеж можуть бути міжвиткові замикання в масло-наповнених апаратах; довгодіюче проходження струму КЗ та перевантаження через провідники; великий перехідний опір контактів на комутуючій апаратурі; грозові розряди; необережне поводження з вогнем .

Робоча зона згідно з ДБН В.2.5-56:2014 [7] забезпечена пристроями пожежогасіння та системою пожежної сигналізації, а також є шляхи для під'їзду

					2410 ДП.ОА-71-02 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		104

пожежної машини.

Щитове приміщення, в якому розташоване обладнання обліку та розподілення електроенергії за нормами ДНАОП 0.00-1.21-98 [8] забезпечується захисними засобами за рахунок експлуатаційних витрат, а також первинними засобами пожежогасіння. Обсяг захисних засобів може збільшуватися в залежності від системи організації експлуатації і місцевих умов.

Конструкція, виконання і клас ізоляції застосованого електроустаткування обрані з урахуванням умов навколишнього середовища і пожежної небезпечності приміщень відповідно до вимог ПУЕ.

Вимоги до пожежної безпеки на підприємстві неухильно повинен дотримуватися кожен співробітник, а організаційна складова при цьому покладається на посадових осіб за відповідним рішенням керівництва і прописується в посадових інструкціях і положеннях по структурним підрозділам.

5.4 Висновки з охорони праці підприємства

Детально аналізуючи умови праці інженерів-електромеханіків підприємства «Керченська насосна станція» можна зробити наступні висновки:

- мікроклімат робочої зони (температура повітря, відносна вологість та швидкість руху повітря) впродовж року відповідає допустимим умовам для виробничих приміщень. Рекомендується встановлення системи кондиціонування для забезпечення оптимальних умов.

- освітлення відповідає всім вимогам ДБН В.2.5-28:2018. Рекомендується заміна ламп накаливання на більш енергоефективні.

- рівень шуму та віброшвидкості знаходяться в допустимих межах. Рекомендується зробити акустичну ізоляцію рубки керування для зменшення рівня шуму.

- норми електробезпеки підприємства виконується. Рекомендується заміна ізоляцій кабелів на не горючу, наприклад АВВГнг.

- пожежна безпека повністю відповідає стандартам та нормам.

					2410 ДП.ОА-71-02 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		105

Висновки

У цьому курсовому проєкті була виконана автоматизація опріснювальної установки зворотнього осмосу. Даний спосіб опріснення є найбільш енергоефективним та доволі простий у автоматизації. З головних недоліків даного способу – установка потребує постійної промивки, та вхідна вода має відповідати певним вимогам хімічного складу. Для очистки від частинок мулу та інших забруднень картриджний мультипатронний фільтр очистки води PURO CFH 15x40.

В якості об'єкта водопостачання було обрано ряд багатоповерхівок, що розміщуються в м.Керч вздовж вул. Юрія Гагаріна та вул. Фурманова та між ними. Загальна кількість двох- та трьохкімнатних квартир становить $N = 6087$. Головним фільтруючим елементом є напівпроникна мембрани XLE 440, які обиралися згідно потрібної продуктивності та параметрів вхідної води, в першу чергу загальної мінералізації та температури.

Головним робочим органом даного устаткування є відцентровий багатоступінчатий насос високого тиску Grundfos CR 64-4-1, що забезпечує подачу $64 \text{ м}^3/\text{год}$ при тиску 8,39 бар на мембранні корпуси, які в свою чергу виробляють $48,64 \text{ м}^3/\text{год}$ опрісненої води. Лопаті насоса обертає асинхронний двигун з короткозамкненим ротором MG 180MB потужність 22 кВт, класом енергоефективності IE3 та номінальною частотою обертання 2950 об/хв.

Регулювання частоти обертання валу двигуна, а також його плавний пуск забезпечується за допомогою перетворювача частоти з скалярним управлінням Lenze ESMD 223 L4TFA. Даний перетворювач здійснює регулювання за законом Костенка U/f так як при такому регулюванні установки вищі енергетичні показники.

Управління ПЧ здійснюється шляхом подачі аналогового сигналу від контролера зворотнього осмосу ОС 6000, який крім цього забезпечує управління всією установкою, за допомогою сигналів від датчиків провідності, тиску та подачі. Важливими параметрами автоматизації і управління установки

					2410 ДП.ОА-71-02 ПЗ	Арк.
						106
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зворотнього осмосу, є такі як: швидкість обертання валу двигуна насосу високого тиску; тиск на вході та виході з основних вузлів установки (насос, механічний фільтр, мембранні корпуси); провідність пермеату та концентрату; продуктивність установки.

За обрахованими параметрами структурної схеми САК ПЧ-АД з П регулятором швидкості та ІІІ регулятором струму, було зроблено моделювання автоматизованого приводу НС в середовищі SIMULINK та побудовані перехідні характеристики по швидкості та моментів на валу двигуна.

В дипломному проекті було розраховано електропостачання Керченської насосної станції, загальна потужність якої складає 874 кВА. Було обрано переріз провідників та їх марки, силові трансформатори та електричні апарати. Норми охорони праці та безпеки персоналу на підприємстві в загальному виконуються.

В подальшій роботі планується створити математичну модель ПЧ-АД-насос високого тиску з врахуванням їх роботи з напівпроникними мембранами на основі знятих точок з робочої моделі і порівнянні з теоретичними, що були наведені в даній роботі. На основі математичної моделі необхідно уточнити значення енергетичних показників при частотному регулюванні установки.

					2410 ДП.ОА-71-02 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		107

Перелік посилань

1. Електронний ресурс: <https://mepr.gov.ua/files/docs/2report.compressed.pdf>
2. Правила улаштування електроустановок, розділ 1, глава 1.3 «Вибір провідників за нагрівом»
3. Електрообладнання та електропостачання машин і установок геотехнічних виробництв [Електронний ресурс] : підручник для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», спеціалізації «Електромеханічні та мехатронні системи геотехнічних виробництв» / І. С. Рябенко, С. П. Шевчук, О. В. Мейта ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 15,9 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 633 с.
4. Лезнов Б.С. Методика оценки эффективности применения регулируемого электропривода в водопроводных и канализационных насосных установках. М.: Машиностроение, 2011.
5. ДСН 3.3.6.042-99 „Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень”
6. ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення».
7. ДСН 3.3.6037-99 “Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку”.
8. ГОСТ 12.1.003-83. «ССБП. Шум. Загальні вимоги безпеки».
9. ГОСТ 12.1.012-90. «ССБП. Вібраційна безпека. Загальні вимоги».
10. НПАОП 40.1-1.21-98 “Про затвердження Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів”
11. ДБН В.2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту»
12. ДНАОП 0.00-1.21-98 «Про затвердження Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів»