

Міністерство освіти і науки України
Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем

МАЛАНДІЙ Павло Костянтинівич

Автоматизована система управління водонапірною вежею
/ Automated control system of the water tower

Спеціальність: 151 - Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
Освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Кваліфікаційна робота

Виконав студент групи АКІТ-41
П.К. Маландій

Науковий керівник:
к.т.н., І.Б. Албанський

Кваліфікаційну роботу
допущено до захисту:

“ _____ ” _____ 20 ____ р.

Завідувач кафедри

_____ А.І. Сегін

Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем
Освітній ступінь "бакалавр"

Спеціальність: 151 - Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
Освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри СКС

А.І.Сегін

“ ___ ” _____ 20__ р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ
МАЛАНДІЮ Павлу Костянтиновичу

(прізвище, ім'я по-батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи: Автоматизована система управління водонапірною вежею / Automated control system of the water tower.
керівник роботи к.т.н., І.Б. Албанський

затверджені наказом по університету від «08» грудня 2022 р. № 491

2. Строк подання студентом закінченої кваліфікаційної роботи: 15.05.2023р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи:

1. Особливості побудови автоматизованої системи водопостачання.
2. Способи управління технологічними параметрами функціонування водонапірної вежі.
3. Технічні засоби автоматизації об'єкта управління.
4. Розрахункова ефективність системи автоматичного управління основними і контрольними засобами об'єкта керування.

4. Основні питання, які потрібно розробити:

1. Аналіз складової автоматизованої системи управління водонапірними вежами.
2. Реалізація структури автоматизованої системи управління водонапірною вежею.
3. Розробка функціональної схеми комплексу технічних засобів.
4. Охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу у роботі:

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	Албанський І.Б.		
2	Албанський І.Б.		
3	Албанський І.Б.		
4	Сапожник Г.В.		

7. Дата видачі завдання 20 жовтня 2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назви етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз технологічного процесу як об'єкта керування	11.2022р. – 12.2022р.	
2	Специфікація вибору технічних засобів автоматизації	01.2023р. – 02.2023р.	
3	Розрахунок системи автоматичного регулювання	03.2023р. – 04.2023р.	
4	Охорона праці	04.2023р. – 05.2023р.	

Студент

_____ (підпис)

Маландій П.К.

Керівник роботи

_____ (підпис)

к.т.н., Албанський І.Б.

РЕФЕРАТ

Робота виконана на 87 сторінках та містить 21 рисуноків, 3 таблиць, 25 джерела за переліком посилань.

Мета роботи є розробка автоматизованої системи управління водонапірною вежею.

Методи дослідження. Методи, методики та технології створення САУ процесами та комплексами різного призначення. Інструментальні засоби моделювання, планування, математичного, алгоритмічного і програмного забезпечення задач аналізу та синтезу складних розподілених у просторі гнучких комп'ютерно-інтегрованих систем.

Результати роботи: система управління водонапірною вежею, яка на основі засобів контролю та виконавчих механізмів забезпечує безперебійне і ефективне водопостачання виробничих потужностей або населеного пункту.

Рекомендації по використанню результатів роботи: розроблена система управління водонапірною вежею, застосування якої дозволяє безперебійно забезпечувати виробничі потужності достатніми об'ємами технічної та питної води та підтримувати ефективну роботу пожежної системи.

Можливі напрямки розвитку: автоматизована система водопостачання дає можливість інтегрувати систему керування водонапірною вежею в єдину корпоративну автоматизовану систему управління об'єктом.

Ключові слова: ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ, ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ АВТОМАТИЗАЦІЇ, СИСТЕМА ВОДОПОСТАЧАННЯ, РЕЖИМ РОБОТИ, ВОДОНАПІРНА ВЕЖА.

ABSTRACT

Work is executed on 87 pages and including 21 illustrations, 3 tables, 25 source after the list of references.

Purpose of work: is the development of an automated water tower control system.

Research methods. Methods, techniques and technologies of creating self-propelled guns by processes and complexes of various purposes. Instrumental tools for modeling, planning, mathematical, algorithmic, and software support for the analysis and synthesis of complex, spatially distributed, flexible computer-integrated systems.

Job performances: water tower control system, which, based on control means and executive mechanisms, provides uninterrupted and efficient water supply to production facilities or a settlement.

Recommendations after the use of job performances: a water tower control system was developed, the use of which allows uninterrupted provision of production facilities with sufficient volumes of technical and drinking water and to maintain the effective operation of the fire system.

Possible development directions: the automated water supply system makes it possible to integrate the water tower control system into a single corporate automated facility management system.

Keywords: TECHNOLOGICAL PROCESS, AUTOMATED CONTROL SYSTEM, TECHNICAL MEANS OF AUTOMATION, WATER SUPPLY SYSTEM, WORK MODE, WATER TOWER.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЯК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ	9
1.1 Характеристики технологічного процесу та устаткування систем управління водопостачанням та водовідведенням на підприємствах	9
1.2 Аналіз складової автоматизованої системи управління водонапірними вежами та автоматизованих систем водопостачання	14
1.3 Опис контура регулювання та особливостей складних систем автоматизації об'єкта управління	21
2. СПЕЦИФІКАЦІЯ ВИБОРУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ	27
2.1 Реалізація структури автоматизованої системи управління водонапірною вежею та функціональне представлення основних вузлів управління	27
2.2 Обґрунтування вибору промислового мікроконтролерного обладнання для АСУ водозабезпечення	31
2.3 Вибір інтерфейсних та мережевих засобів автоматизації для шафи управління водонапірної вежі	36
2.4 Вибір електромеханічних засобів автоматизації системи управління водопостачання	43
3. РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ	50
3.1 Розробка функціональної схеми комплексу технічних засобів	50
3.2 Розрахунок передаточної функції елементів автоматизованої системи	55
3.3 Статичний та динамічний розрахунок математичної моделі САУ	57

					ДП.АКІТ.9500098.00.00.0000 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		<i>Маландій П. К.</i>			Автоматизована система управління водонапірною вежею / Automated control system of the water tower	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		<i>Албанський І.Б.</i>					5	75
Консульт.		<i>Сапожник Г.В.</i>				ЗУНУ.ФКІТ.АКІТ-41		
Н. Контр.		<i>Заставний О.М.</i>						
Затверд.		<i>Сегін А.І.</i>						

3.4 Дослідження стійкості системи та якості регулювання на етапах побудови кривої перехідних процесів	60
4. ОХОРОНА ПРАЦІ	65
4.1 Сучасний стан охорони праці в Україні	65
4.2 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів	72
4.3 Розробка заходів з охорони праці	80
ВИСНОВКИ	83
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	85

					ДП.АКІТ.9500098.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

ВСТУП

Актуальність теми. На сучасному етапі розвитку техніки водообробки неможливо керувати системами водопостачання та водовідведення (СВВ) без їхньої автоматизації. Висока продуктивність обладнання, швидкості потоків та фізико-хімічних перетворень, великі обсяги апаратів та споруд, залежність техніко-економічних показників (ТЕП) від багатьох різноманітних чинників все це висуває високі вимоги до управління СВВ. Якщо людина-оператор раніше з успіхом справлялася із завданнями управління, то тепер він цього зробити не може через свої обмежені можливості: стомлюваність, суб'єктивність в оцінці ситуацій, обмежену швидкість реакцій на різкі зміни режимних параметрів і тому подібне. В результаті функції управління в інженерних системах і на очисних спорудах, а також у все більшому обсязі передаються автоматичним пристроям.

В останні роки велика увага приділяється автоматизації процесів механічного зневоднення опадів у центрифугах, фільтрах періодичної та безперервної дії, а також термічного зневоднення в сушильних агрегатах. Управління водопровідно-каналізаційним господарством великого міста – складна завдання, вирішення якого на сучасному рівні можливе на основі застосування інформаційних технологій, серед яких однією з ключових є технологія геоінформаційних систем (ГІС).

Геоінформаційні технології поступово стають невід'ємною частиною інформаційного простору водопостачання. Організації, що займаються водопостачанням як універсальна ідентифікуюча характеристика будь-яких об'єктів систем водопостачання і каналізації прийнято їхнє географічне розташування. Такий підхід забезпечує організацію єдиного інформаційного простору та інтеграцію через просторові зв'язки будь-яких «інформаційних островів», що важко чи неможливо зробити поза середовищем ГІС.

Таким чином, ГІС – найкраща для підприємства водопостачання технологія поєднання різноманітних інформаційних ресурсів та оперативного

					ДП.АКТ.9500098.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

отримання необхідної для ефективного управління повної та своєчасної інформації.

Мета роботи. Обґрунтування розробки та проектування автоматизованої системи водопостачання на базі водонапірної вежі. У кваліфікаційній роботі розроблено та зпроектовано автоматизовану систему керування водонапірною вежею (вежами) та проведено вибір технічних засобів автоматизації (ТЗА) безпосередньо на об'єкт керування. Завданням створення автоматизованих систем керування технологічними процесами (АСКТП) з використанням персонального комп'ютера ПК та промислових програмованих контролерів постають практично у всіх галузях.

Завданням кваліфікаційної роботи є:

- аналіз технологічного процесу як об'єкта керування;
- специфікація вибору технічних засобів автоматизації;
- розрахунок системи автоматичного регулювання;
- охорону праці.

Автоматизована система управління водонапірною вежею є сучасним рішенням проблем водопостачання виробничих потужностей або населених пунктів, міст. Здійснюється це шляхом об'єднання перерахованих вище факторів в єдину систему контролю.

Об'єктом дослідження є об'єкти фізико-технологічних процесів та пристрої їх автоматизації.

Предметом дослідження є засоби та компоненти автоматичної системи водопостачання при необхідних параметрах ефективної роботи.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що озвучені практичні та теоретичні рекомендації по проектуванню систем автоматизованого управління дають можливість підвищити їх надійність та ефективність роботи.

Напрямки подальшого розвитку результати роботи служитимуть інструментом для вдосконалення при проектуванні автоматизованих систем водопостачання за допомогою відповідних сучасних технічних засобів.

					ДП.АКІТ.9500098.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЯК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

1.1 Характеристики технологічного процесу та устаткування систем управління водопостачанням та водовідведенням на підприємствах

Світові тенденції розвитку промислової автоматизації на найближчі 5-10 років вказують на перехід від усталених класичних систем управління до нового рівня розумних рішень у промисловості. Ці зміни простежуються у багатьох галузях. Передусім це інтелектуальні мережі водопостачання. Насамперед подібні розумні рішення здатні запропонувати комунальним підприємствам величезні можливості для підвищення продуктивності та ефективності за одночасного підвищення рівня обслуговування споживачів.

За оцінкою провідних аналітичних компаній, ринок інтелектуальних систем водопостачання країн Європи та Америки очікує зростання близько 40 відсотків протягом наступних п'яти років. Прогноз ґрунтується на дослідженнях проблем споживання енергії в системах підготовки води. Згідно з даними агентства США з охорони навколишнього середовища (EPA), підприємства водопостачання та каналізації, як правило, є одними з найбільших споживачів енергії, що становить 30–40 відсотків енергії, що використовується в муніципальних підприємствах. Аналізуючи ситуацію в Європі, виявлено, що екологічні норми та підвищена увага до оптимізації споживання енергії у системах підготовки води та переробки стічних вод у промисловості стимулюють повсюдне застосування інтелектуальних систем. Мінімізація витрат життєвого циклу обладнання цих підприємств є ще одним позитивним чинником нових умов. Хоча такі системи мають високу початкову вартість проти традиційними, вони зменшують загальну вартість володіння устаткуванням за рахунок зниження витрат на технічне обслуговування та експлуатаційні витрати. Поряд із підвищенням ефективності та якості використання обладнання очікується великий попит на автоматизацію процесів підготовки води, які зрештою стануть повною

					ДП.АКТ.9500098.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

мірою інтелектуальними промисловими системами. Дослідження показали, що прибутковість європейського ринку підготовки води в 2013 році склала 192,4 млрд. доларів США, а до 2018 року повинна досягти приблизно 267,9 млрд. доларів США. Жорсткі екологічні норми, спрямовані на скорочення викидів парникових газів та діоксиду вуглецю, мають призвести до впровадження розумних рішень на підприємствах підготовки води. Це насамперед пов'язане з виконанням екологічної директиви Euro 2020, яка орієнтована на скорочення на 20 відсотків викидів парникових газів порівняно з рівнем 1990 року. У директиві також зазначено вимоги до інтелектуального проектування АСУ ТП, які встановлюють суворі екологічні норми для систем, пов'язаних із споживанням енергії під час виробництва продукції, що продається в Європі [1].

Розумні технології для мережі водопідготовки є інтегрованим набором продуктів, рішень і систем, які дозволяють підвищити ефективність підприємств водопостачання. Насамперед був потрібний новий підхід до контролю протікання та управління тиском, який, за оцінкою аналітиків, допоможе знизити можливі збитки до 10 млрд доларів США. Раніше виявлене протікання зменшує кількість води, яка витрачається марно, і економить гроші підприємств, яким інакше довелося б витратити кошти для додаткового виробництва води. Ці рішення включають використання сенсорів витрати, щоб на основі зібраних даних, аналітики і вбудованих алгоритмів можна було виявляти об'єкти мережі і ті ділянки, на яких відбувається витік води. Крім того, сенсори тиску та регулюючі клапани можуть у системі зворотного зв'язку та контролю дозволити автоматично вирівнювати тиск у магістралях, не доводячи його до високого рівня, щоб не викликати розрив труби. Ці технології забезпечать додаткову економію за рахунок скорочення витрат на виявлення витоків, запобігаючи пошкодженню трубопроводу та знижуючи витрати на можливий ремонт труб.

Однак менеджмент підприємств підготовки води та каналізаційних очисних споруд, особливо в муніципальному секторі, неохоче йде на

					ДП.АКІТ.9500098.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

встановлення розумних систем. Побоювання пов'язані з підвищенням складності установок, їх експлуатації та технічного обслуговування, що збільшує ризик виходу з експлуатації всієї системи водопостачання. Навіть кінцеві споживачі, які обізнані з перевагами, що надаються розумними системами автоматизації, з точки зору витрат, енергоефективності та життєвого циклу, перед встановленням подібних систем висувають високі вимоги до якості та надійності їх функціонування.

Для досягнення необхідного рівня ефективності та продуктивності складного процесу підготовки води потрібне комплексне рішення щодо побудови систем електропостачання та управління. Чим більша потужність інженерної споруди, тим більше обсяг оброблюваної інформації та значніший обмін даними між різними частинами установки. Для таких установок водопідготовки пропонуються спеціальні рішення та особливі засоби роботи над проектом, які споживач використовуватиме протягом усього життєвого циклу системи, від проектування до експлуатації та модернізації. Як приклад розглянуто спрощену схему проекту водопостачання міста та інструментарій для інтелектуальних мереж. На рисунку 1.1 представлено типову структуру підприємства водопостачання повного циклу.

Подібні системи водопостачання є комплексом взаємопов'язаних інженерних споруд, що забезпечують безперебійне подання споживачам питної води. До складу комплексу входять станції водозабору, водопровідні станції, водонапірні або підвищувальні насосні станції, мережа трубопроводів великої протяжності, каналізаційна мережа, тунельні колектори, каналізаційні насосні станції (КНС) та очисні споруди різної продуктивності.

Інтелектуальні інженерні споруди системи водопостачання повинні об'єднувати у собі відкриту систему керування станціями, ефективну систему керування електродвигунами, зв'язок із контрольно-вимірювальними

					ДП.АКТ.9500098.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

приладами, телеметричну систему, систему центрального диспетчерського керування та збору даних [2].

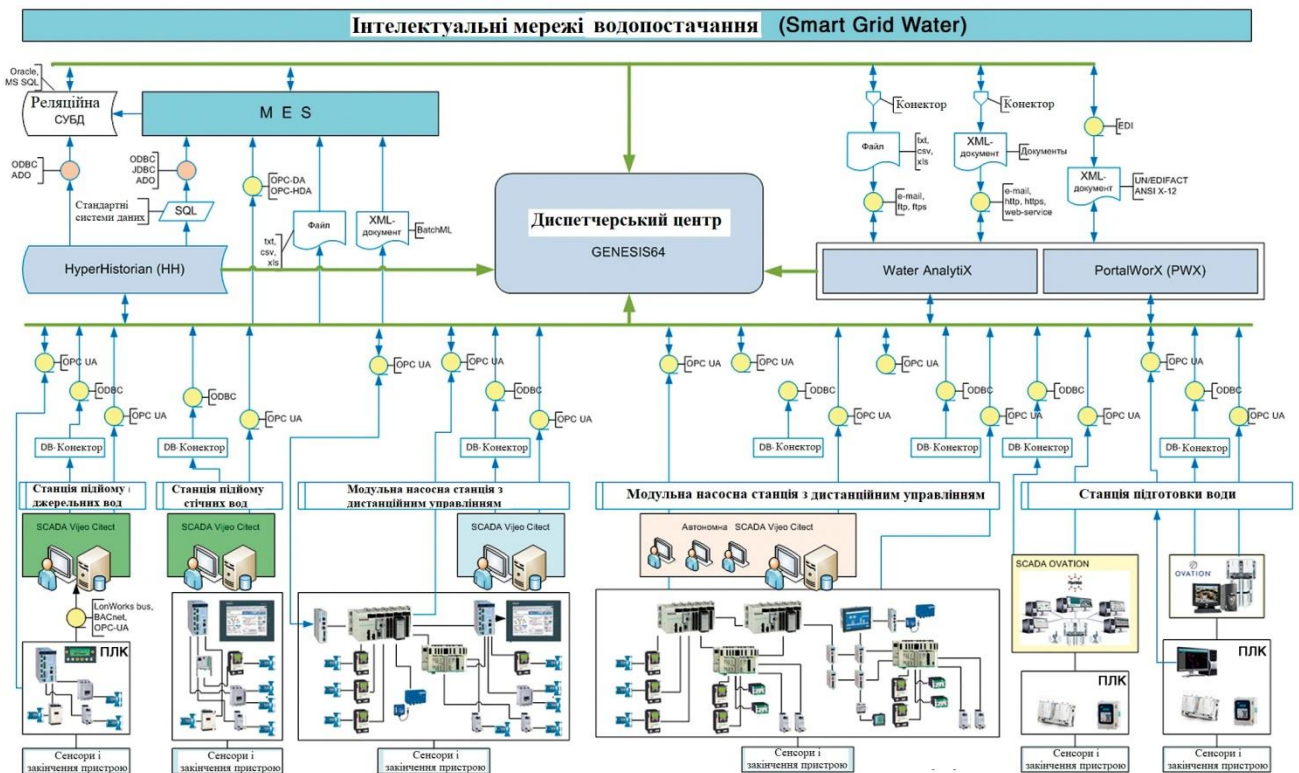


Рисунок 1.1 - Типову структура підприємства водопостачання повного циклу

Для реалізації концепції розумної мережі підготовки води та оптимізації технологій інженерних систем великого міста передусім потрібно було оптимізувати роботу виконавчих пристроїв та модулів керування електродвигунами. Загальна ефективність системи управління електродвигунами була підвищена за рахунок використання існуючого обладнання, що пройшло типові випробування, та нового, більш сучасного обладнання, що характеризується такими особливостями:

- легкість вбудовування у систему управління;
- запобігання виникненню несправностей;
- застосування обладнання, що пройшло типові випробування;
- зменшення необхідного монтажного простору та часу на встановлення та технічне обслуговування;
- просте підключення або зміна трубопроводів, що відводять.

Однією з відмінних рис проекту підготовки води в мегаполісах від інших подібних систем була відкрита система управління, яка може містити багато оригінальних підсистем і компонентів, а саме [2, 3]:

- контролери Schneider Electric та EMERSON;
- SCADA GENESIS64 (ICONICS), Ovation, Vijeo Citect;
- контрольно-вимірювальні прилади більш як 18 виробників;
- перетворювачі частоти та пристрої плавного пуску ABB, Schneider Electric та ін;
- сенсори та пристрої введення/виводу більш ніж 12 виробників.

Всі пристрої були підключені, налаштовані та оптимізовані в процесі введення в дію або в ході подальшої експлуатації до SCADA нижнього рівня (Ovation та Vijeo Citect). А інформація з підсистем об'єднувалася на верхньому (диспетчерському) рівні на базі GENESIS64 завдяки вбудованій підтримці OPC UA-даних, тривоги, подій та історичних даних, з одного боку, та додатковим засобам забезпечення сумісності, які дозволяють знизити витрати на підключення та конфігурування, з іншого боку. За рахунок застосування бібліотек активів (Assets) з перевіреною інформацією про обладнання та умови його експлуатації було досягнуто високого рівня якості та стандартизації системи в цілому. Технологія управління активами AssetWorX™ дозволяє персоналу та менеджерам компанії інтерпретувати будь-які дані та застосовувати складні механізми управління активами, що є компонентами підприємства Smart Grid Water: очисні споруди, свердловини, насосні станції та виробничі будівлі, а також будь-які основні виробничі засоби. Застосування технологій AssetWorX™ значно знизило тимчасові витрати на розробку системи, а інтуїтивно зрозумілий вбудований навігатор забезпечив просте та швидке отримання необхідних даних від комунальних підприємств.

Наведені рішення порівняно з іншими станціями дали додаткові переваги: більш високу надійність та продуктивність за рахунок оснащення підвищувальних насосних станцій кількома електродвигунами з

					ДП.АКІТ.9500098.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

оптимальним керуванням. Кожен насос був забезпечений перетворювачем частоти та керованим контролером, розташованим на цьому рівні. Модулі керування різними перетворювачами частоти підключені до загальної мережі передачі даних, що дозволило оптимально використовувати насосне обладнання.

Розумні мережі водопостачання відкривають величезні можливості ефективного використання водоканалами обладнання та фінансових засобів, вирішення глобальних проблем у сфері безпеки та якості води, впровадження технологій майбутнього. Настав час підприємствам водопідготовки скористатися цією можливістю, але для успіху буде потрібна співпраця та об'єднання зусиль інженерних служб, керівництва та всіх зацікавлених сторін підприємств галузі. У той час як розумні мережі водопостачання продовжуватимуть інноваційний розвиток, комунальні підприємства вирішуватимуть свої проблеми за рахунок впровадження технологій, що є критично важливими для побудови інтелектуальних мереж водопостачання, що знаходяться на стадії розробки або вже присутні на ринку сьогодні. Розвиток інтелектуальних мереж водопостачання спиратиметься на партнерство між людьми та технологіями з метою розумного використання одного з найцінніших наших ресурсів – води.

1.2 Аналіз складової автоматизованої системи управління водонапірними вежами та автоматизованих систем водопостачання

Автоматизовані системи на підприємствах, що надають послуги по забезпеченню водопостачання та відведенню каналізаційних стоків, необхідні для покращення ефективності технологічного процесу видобутку та транспортування водних ресурсів, зниження затрат енергоресурсів, підвищення якості та надійності подачі і транспортування водних ресурсів споживачам. Процес ефективного аналізу включає автоматизацію артезіанських свердловин та насосних станцій водозабору промислового

					ДП.АКІТ.9500098.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підприємства, а також структурну схему управління водозабезпеченням житлових будинків в населених пунктах.

Ефективні системи водопостачання та відведення каналізаційних стоків – це сукупність складних гідрологічних споруд, механізмів, систем та апаратів, частини яких коректно і без збоїв працювати спільно і єдиному механізмі. До таких споруд відносяться водоприймальні установки, станції багатоступеневої очистки води, мережі водозабезпечення і каналізаційного відведення з пристроями та засобами, що обслуговують їх, насосні підстанції. На даних об'єктах здійснюється цілий ряд гідравлічних, фізико-хімічних та мікробіологічних технологічних процесів. Основними особливостями систем водопостачання і каналізації як об'єктів автоматизації є [3]:

- підвищений рівень відповідальності, що розуміє під собою надійну та безперебійну роботу;
- працездатність споруд за умов нестабільно-мінливого навантаження;
- пряма залежність режиму роботи гідрологічних споруд від зміни якості вихідної води;
- територіальна розосередженість таких споруд та гостра необхідність координування їх роботи з одного диспетчерського центру;
- висока складність технологічного процесу та необхідність забезпечення багатоступеневої обробки, що забезпечує високу якість води;
- необхідність якнайкращого забезпечення найефективнішої роботи насосних підстанцій;
- необхідність підтримки працездатності при аварійних ситуаціях на окремих ділянках.

Ефективне покращення роботи можливе в процесі автоматизації наступних вузлів систем водопостачання та каналізації:

- артезіанських свердловин водозабору;
- насосних підстанцій 1-го, 2-го підйому, та підвищення ефективності їх роботи;

					ДП.АКТ.9500098.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- фільтрувальних та водоочисних підстанцій;
- побудова мереж нагнітаючих підстанцій;
- автоматизація технологічних процесів на каналізаційних насосних станціях та очисних спорудах.

Загальноприйнята система автоматизації технологічних процесів складається з ряду наступних елементів: сенсорів (тиску, витрати, температури), вимірювальних перетворювачів (аналогових та цифрових), модулів вводу-виводу різнотипних даних, ПК (ноутбука) та програмованого контролера, електронно-механічних виконавчих пристроїв. Для оперативної передачі даних з віддалених об'єктів на диспетчерський пункт використовується будь-який з доступних каналів зв'язку, а саме: комутовані лінії (кабельні лінії), бездротові лінії (радіоканал), бездротовий Ethernet (WI-FI), стільниковий (мобільний) зв'язок (GPRS, SMS), супутниковий зв'язок.

Сенсор – електронний елемент автоматизованих систем, який призначений для вимірювання, сигналізації, регулювання, керування пристроями чи технологічними процесами САУ.

Вимірювальний перетворювач – електронно-технічний засіб якому характерні нормовані метрологічні характеристики, що використовується для перетворення вимірюваної величини у вимірювальний сигнал, зручний для подальшої обробки, зберігання, відтворення, подальших перетворень, індикації та передачі, що не сприймається оператором.

Модулі вводу-виводу даних – електронні пристрої та засоби, що виконують перетворення сигналів, які надходять з сенсорів в цифровій або аналоговій формах і транслюють отримані дані ПК (мінікомпютера) або програмованого (промислового) контролера, а також передають команди до виконавчих пристроїв та механізмів.

Мікроконтролер – електронний-цифровий пристрій керування в електроніці та електротехніці. Програмований логічний контролер (programmable logic controller - PLC, ПЛК) – електронний пристрій управління промисловим обладнанням, енергетичним обладнанням,

					ДП.АКІТ.9500098.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

житлово-комунального господарства, транспорту та інших високотехнологічних технологічних систем. ПЛК – спеціалізований цифровий комп'ютерний пристрій, що застосовується для автоматизації технологічних процесів САУ. На відміну від комп'ютерів загального функціонального призначення ПЛК мають більш розвинені та розгалужені пристрої вводу-виводу сигналів та команд сенсорів та виконавчих пристроїв, пристосовані для більш тривалої роботи без додаткового обслуговування, а також для різнотипних умов навколишнього середовища. ПЛК є пристроями і засобами реального часу [4].

Виконавчий пристрій або механізм – пристрій САУ або системи регулювання, що керує процесом відповідно до командної інформації, яка надходить з ПЛК. У промисловому обладнанні виконавчі пристрої є перетворювачами, що перетворюють різнотипні вхідні сигнали (електричний, оптичний, механічний, пневматичний) у вихідний сигнал (в поступальний рух), що впливає на об'єкт управління. Обладнання такого типу включає електричні двигуни, електронно-механічні, пневматичні або гідравлічні приводи, електромагнітні, релейні пристрої.

Керування насосними підстанціями артезіанських свердловин та станції нагнітання і водозабору здійснюється автоматизованою системою, яка побудована з врахуванням виробів виробництва провідних фірм «Siemens», «ОВЕН», «Schneider Electric. Програмна реалізація розроблялася з використанням програмного середовища та візуалізації CoDeSys 2.3 та CoDeSys HMI відповідно.

Для прикладу інтегрування автоматизованої системи водо розподілу для заводу чи фабрики реалізується у вигляді складної структури насосних станцій, резервуарів для зберігання виробничих запасів води, систем очищення та фільтрування, а також системи водовідведення. На території виробництва розташовується декілька артезіанських свердловин. Вода, що викачується із кількох свердловин, накопичується у кількох водяних вежах (водонапірних вежах). Інша кількість свердловини застосовується для

					ДП.АКІТ.9500098.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

господарських і побутових задач на виробництві (питна-столова вода, санітарно-побутові потреби, полив газонів та тепличних приміщень, пожежна система водорозподілення). Вода з даних свердловин перекачується у накопичувальні резервуари (водонапірні вежі). З накопичених запасів станція водозабору здійснює відбір води за допомогою кількох мережевих насосів, які нагнітають необхідний тиск води у трубопроводній системі. У свою чергу на станціях водозабору встановлено аварійні насоси: потужні пожежні насоси (високонапірні) та дренажний, що застосовується у разі підтоплення будівлі водозабору. Артезіанські свердловини розміщені віддалено на різну відстань одна від одної, а дистанції від них до накопичувальних ємностей орієнтовно від 200 до 900 м-коду.

Керування насосами свердловин здійснюються автоматично. Актуальний і оперативний контроль параметрів: стан насосного обладнання, водяний тиск, актуальні витрати води – на об'єктах водозабору корегуються у автоматичному режимі. До періоду введення в експлуатацію САУ та контролю водозабезпеченням великого виробництва (підприємства чи фабрики), диспетчер підтримував відповідний рівень води в накоплюючих ємностях, виконував процес обходу усіх свердловин і вмикав-вимикав насосне обладнання за допомогою пульта дистанційного керування. В процесі йому необхідно було слідкувати за водяним тиском і витратою води в трубопроводі для господарських потреб і в який раз вручну вмикати-вимикати мережеве насосне обладнання. Щоб забезпечити цілодобове чергування на пунктах водозабору в штаті підприємства має бути кілька осіб.

Встановлений порядок роботи не підходив керівництву, необхідно було створити іншу систему керування і при цьому витримувати ряду умов:

- запропоноване рішення має бути бюджетним;
- потрібно буде автоматизувати усі процеси видобутку води та транспортування споживачам;
- диспетчер має можливість вмішуватися в процес управління та дистанційно керувати роботою всіх насосних агрегатів з ПК;

					ДП.АКІТ.9500098.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- має бути забезпечений коректний і оперативний моніторинг роботи артезіанських свердловин, пунктів водозабору, об'єму води у накопичувальних ємностях (водонапірних вежах) та збереження вибраних параметрів на ПК;
- необхідною умовою є введення протоколів подій та процесів.

Диспетчерський центр на станції водозабору за допомогою персонального комп'ютера (ПК) та шафи керування з контролером ПЛК-100 (рисунок 1.2), ПЛК підключено до ПК за допомогою Ethernet.



Рисунок 1.2 – Загальний вигляд шафи керування з контролером ПЛК-100

На усіх свердловинах встановлено обладнання: модулі вводу-виводу, лічильник тактових імпульсів, пристрій плавного запуску, сенсор тиску з вихідним струмом 4...20 мА, сенсор струму з параметрами 4...20 мА.

На пунктах водозабору встановлені: модульне обладнання, імпульсні лічильники, сенсори тиску, сенсори струму та захисні модулі двигунів для всіх насосів. На водонапірних вежах встановлено модуль МВА-8 та сенсори тиску ПД100-ДІ. Програмований контролер ПЛК-100 підключений кабелем «вита пара» об'єднав всі артезіанські свердловини та пункт водозабору в єдину промислову мережу. В сумі загальна довжина протягнутої провідної

мережі досягла 1,7 км. У прокладеній мережі вмонтовано два повторювачі RS-485 виробництва ICP [3-5].

Програмне забезпечення, прошите в пам'ять ПЛК, яке була розроблена в середовищі програмного комплексу CoDeSys, що входить у безкоштовний пакет, з застосуванням мов програмування ST, CFC стандарту MEK 61131-3. Графічний інтерфейс диспетчера зпроектований також у CoDeSys. Насосне обладнання для підтримки встановленого рівня води в накопичувальних вежах та робочих рівнів води в ємностях вмикаються та виключаються автоматично.

Насосне обладнання водозабору підтримує необхідний тиск у магістралі та працюють за принципом один – ведучий, а інший – ведений. Зміна ведучого насоса відбувається автоматично через деякий встановлений часовий проміжок з врахуванням рівномірного зносу обладнання. По кожному насосному агрегату ведеться облік мотогодин.

Програмне забезпечення ПЛК проводить діагностику усіх аналогових та цифрових сенсорів, встановлених на контрольованих об'єктах. Ведеться облік усіх помилок, які протоколюються і візуалізуються по кожному параметру: коли зникає зв'язок RS-485, обрив на лінії, коротке замикання (КЗ), вихід за межі параметра струму 4...20 мА, досягнення аварійних меж. Якщо вийшов з ладу сенсор, диспетчер отримує сигнал-інформацію про характер несправності (помилки). У разі якщо диспетчер своєчасно не втрутиться у процес керування, система продовжить роботу з показниками інших робочих сенсорів або перейде на обхідні гілки алгоритму керування. Аналізуючи основні параметри сенсора струму, програмне забезпечення, для прикладу, може оприділити сухий хід насоса та вимкнути несправний насосний агрегат або переключити на робочий. Якщо несправний сенсор тиску програмне забезпечення дозволяє працювати насосу, у якого ведеться контроль потоку і поточна витрата води.

Після впровадження САУ скоротилася кількість обслуговуючого персоналу, що контролювали систему водорозподілу. В кращу сторону

					ДП.АКІТ.9500098.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

змінився графік і порядок роботи – появилася можливість контролювати усі режими роботи насосного обладнання та параметри всіх наявних сенсорів у реальному часі, продуктивність свердловин, також проводиться облік води, що викачується з артезіанських свердловин.

1.3 Опис контура регулювання та особливостей складних систем автоматизації об'єкта управління

Водонапірна вежа (ВВ) – споруда, призначена для регулювання напору та витрати води, а також її зберігання. Цей багатометровий резервуар винайшли кілька століть тому, але він досі не втратив своєї актуальності, особливо у місцях, де є проблеми з електрикою.

Трубопроводи, які підключені до водонапірної башти, виконують роль судин. Принцип роботи є досить простим: вода завжди займає однаковий рівень у всіх елементах трубопроводу. Башта знаходиться на високому рівні (вище, ніж будь-який об'єкт, що обслуговується), що дозволяє створити тиск, якого достатньо для подачі води споживачам.

Вивчивши закон гідростатики, багато винахідників стали створювати різні варіанти веж. З появою електричних насосів принцип роботи водонапірних веж змінився кардинально. Спочатку вежі робили за допомогою кам'яної кладки, але з приходом нових технологій гідроспоруди стали виготовляти із залізобетону та сталі. Широкого розповсюдження набули сталеві баки змінного перерізу їх ще називають вежею Рожновського. Ці резервуари складаються із двох циліндрів різного розміру, які з'єднують на заводі. Вони прості у встановленні, але виникають проблеми під час перевезення, так як вантаж негабаритний.

Такі споруди мають різну кількість вузлів, що варіюється в залежності від призначення, розташування та інших моментів. У будь-якому випадку, у складі кожної вежі є [6]:

					ДП.АКТ.9500098.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- встановлений на висоті місткий резервуар, виготовлений з відповідного матеріалу;
- опора, що тримає резервуар, вона може бути монолітною чи рамною;
- вертикальний водопровід, що подає і відводить, труба, що відводить, має великий діаметр і підключена до водозабірної системи;
- вентиляційний люк, який необхідний для запобігання застою води та для вирівнювання об'єму повітря;
- насосна станція, це невід'ємний елемент сучасних ВВ, який знаходиться в безпосередній близькості від резервуара її основне призначення – підтримка рівня води необхідному рівні;
- фільтри, жодне сучасне гідробудування не обходиться без системи очищення води.

Головні функції - вирівнювання роботи насосної станції це є основна функція водонапірної вежі. Вода береться із свердловин та подається за допомогою насосної станції. Якщо підключати станції безпосередньо з водопроводами будуть неминучі перевантаження, які призведуть до аварії, тому задіяні резервуари, що підтримують оптимальний тиск (рисунок 1.3).

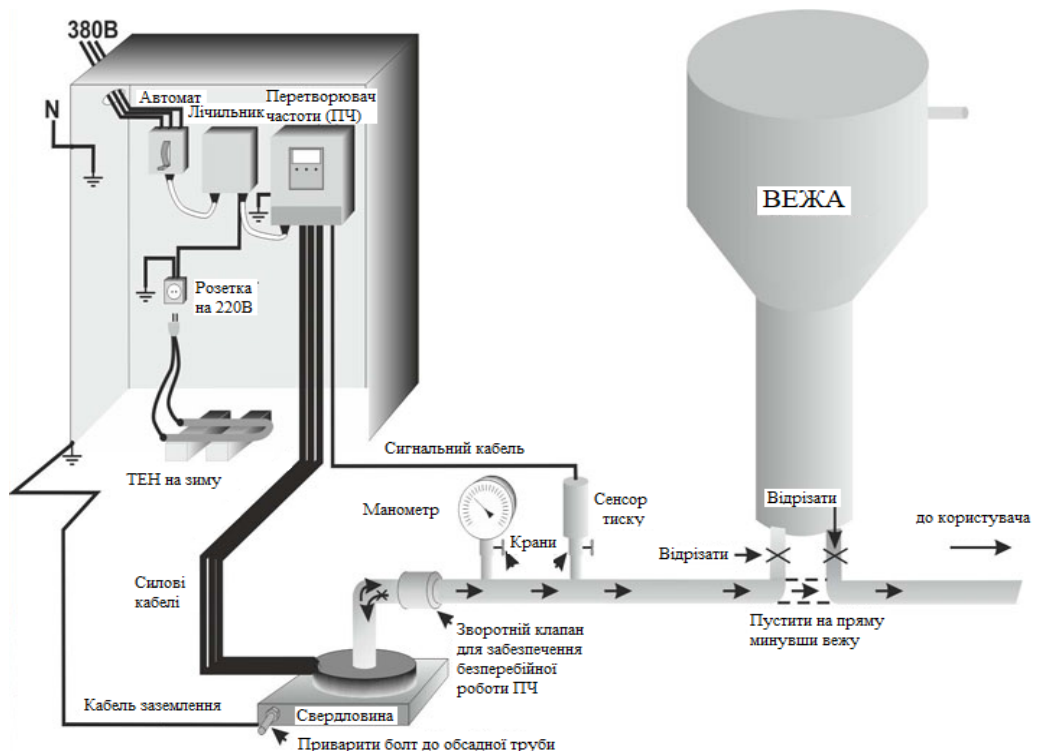


Рисунок 1.3 – Автоматизована система водо забезпечення баштового типу

					ДП.АКІТ.9500098.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Через це насосні станції не перевантажуються і не виходять з ладу завчасно, підтримуючи постійний тиск у водонапірній мережі. І тут насоси не задіяні, так як тиск підтримується за рахунок резервуара. Вода далеко не завжди має гарну якість, тому в вежі встановлюються спеціальні фільтруючі елементи, які затримують бруд, пісок, важкі метали. Всі перелічені вище моменти дозволяють безперервно постачати чисту воду споживачеві (рисунок 1.3.). Незважаючи на різноманіття схем водопостачання міст та промислових об'єктів, їх можна звести до кількох типових рішень. У будь-якому випадку конкретна схема водопостачання буде аналогічна описаною або комбінацією з них.

Схема абсолютно тривіальна і функціонує за одним алгоритмом: в залежності від рівня в вежі необхідно включати та вимикати насоси артезіанських свердловин. Тиск у міській мережі в повній відповідності до законів фізики дорівнює рівню в резервуарі плюс висота вежі, якщо його виражати в метрах водяного стовпа (10м води приблизно 1 атмосфера). Від інтелекту персоналу залежить порядок включення та вимикання насосів – від усіх по одному рівню до встановлення індивідуальних рівнів залежно від рентабельності насоса та часу доби (у цьому випадку з'являється алгоритм, що забезпечує рівномірну за кількістю відпрацьованих годин роботу насосів). Регулювання включення з урахуванням часу доби доцільно за двох тарифної системи оплати електроенергії, якщо обсяг вежі покриває потреби нічного водорозбору. Теоретично у вежі має бути встановлений сенсор рівня для збереження пожежного запасу води. За сигналом цього сенсора забороняється водорозбір-подача води з вежі, але це вже не коректно (рисунок 1.4).

Як варіант може вироблятися водозабір із відкритого водоймища (річка-озеро), це зовсім не змінює алгоритмів та ідеології, а лише тип застосовуваних для водопідйомну здатність насосів.

					ДП.АКТ.9500098.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

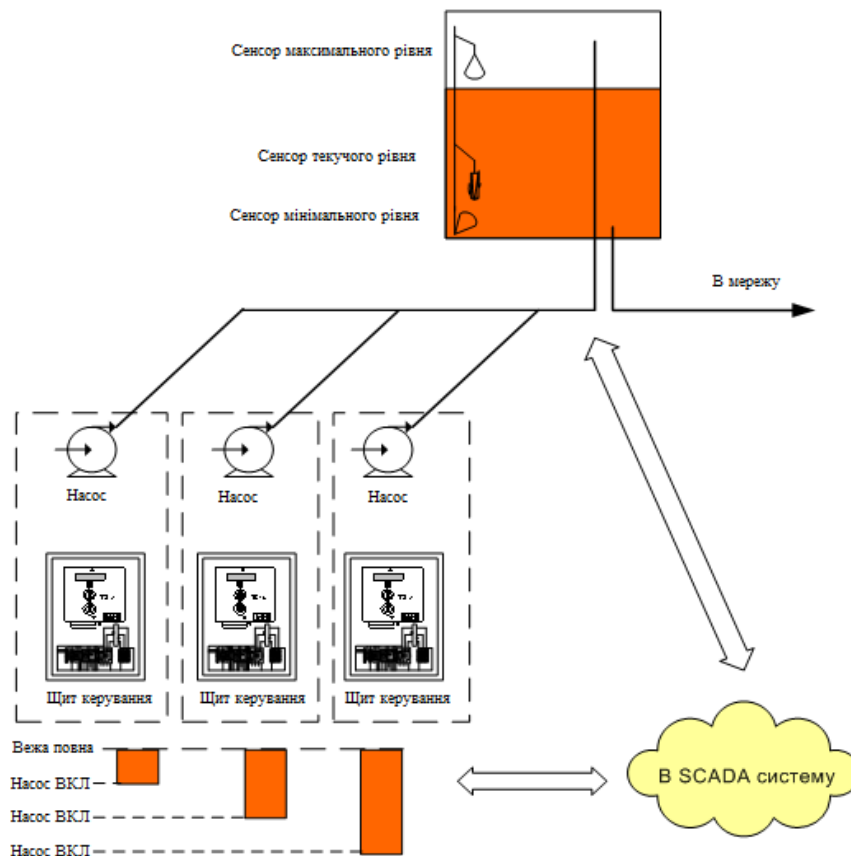


Рисунок 1.4 – Інтелектуальна схема водозабору баштового типу

Виродженням даної схеми є варіант, який можна знайти в будь-якому дачному будинку - один насос (занурювальний, артезіанський або самовсмоктуючий) і напірний бак-накопичувач (гідрофор). Алгоритм керування повністю аналогічний раніше описаному, тільки замість рівнів у вежі для керування насосом використовуються значення тиску, які отримують від реле тиску. Для промислових систем з гідрофоном великого обсягу необхідний контроль рівня води в ньому. Для цього в бак встановлюється поплавковий сенсор рівня на два положення, що контролює роботу компресора, що закачує в гідрофон повітря для забезпечення надлишкового тиску. Вода з гідрофону витісняється повітрям, при зниженні тиску до встановленого рівня вмикається насос, при досягненні встановленого тиску насос вимикається. Якщо повітря в баку мало, високий рівень води включає повітряний компресор. Повітря витісняє воду до мережі до встановленого рівня і компресор вимикається [6, 7].

Якщо вежу закопати в землю по самий резервуар, виникне необхідність створення тиску в міській розподільній водопровідній мережі. Для цього будуються насосні станції другого підйому. Насоси підтримують тиск у міській мережі відповідно до показань сенсора тиску оператором (диспетчером), що включає або вимикає насоси другого підйому або відкриває вихідну засувку. З цього слідує, що потрібно побудувати водонапірну вежу та регулювати роботу насосів за рівнем у вежі, це поширене рішення. У цивілізованих країнах встановлюють на насосних станціях другого підйому пункти із частотнорегульованим приводом.

Вище наведений матеріал щодо вежі справедливо і для накопичувальних резервуарів, включаючи сенсор пожежного рівня. Зазвичай резервуари мають більший ніж вежа обсягом і тому більш перспективні для використання двох тарифної системи оплати електроенергії. Вночі, коли електроенергія дешевшою працюють менш економічні насоси артезіанських свердловин, а вдень, якщо ємності резервуарів вистачає на день, працюють тільки енергоощадливі насоси другого підйому. Для висотних будинків будуються насосні станції третього підйому. Це дозволяє знизити загальний тиск у міських магістралях із масою приємних наслідків – від зниження втрат до економії електроенергії.

Після встановлення частотно-регульованих приводів (ЧРП), приходиться розуміння, що тиск на виході станції другого підйому іноді дуже відрізняється від тиску в деяких районах міста. Просунуті (Advanced) у разі встановлюють сенсори тиску в доленосних (диктуючих) точках і цю інформацію передають на ЧРП. Результати в цьому випадку можуть бути дуже ефективні [7].

Багатогранність автоматизованих систем водозабору у великих містах може помітити різні комбінації вищенаведених схем – після насосних другого підйому вежі та далі насосні третього підйому, відкритий водозабір у поєднанні з артезіанськими свердловинами.

					ДП.АКІТ.9500098.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ще один варіант автоматизованої системи водозабору – підйом води із пласта вакуумними насосами. У водоносний шар опускаються труби, з'єднані загальним колектором з резервуаром. У верхній частині встановлюється компресор створення розрідження. Вода всмоктується у резервуар та насоси з резервуару подається до міської мережі. Контроль продуктивності подібної системи легко здійснювати встановленням ЧРП на компресор з подальшою реалізацією простого алгоритму - що більше тим більше.

Аналіз автоматизованих систем водозабору говорить про те, що будь-яку схему можна оптимізувати в описі або їх комбінаціях. Все це є нагромадження технічних засобів, що має вирішувати завдання, які легко формулюється, тобто мати воду з певним тиском у певних точках міської мережі. Але інколи міська мережа - набір багатофункціонального заліза з абсолютно різним функціоналом. Для контролю над станом міської мережі доводиться створювати системи, які з точок вимірювання тиску і потоку у певних місцях міста з передачею цієї інформації до контрольного центру. Мережі розростаються через перемикаючі камери – скупчення засувки, які логічно вимагають автоматизації та керованості, контролю перетікання води (добовими та сезонними) зі спальних районів у промислові або з околиць у центр і навпаки. Дистанційне керування засувками легко вирішує проблему самоочищення труб, дозволяючи змінювати напрямки течії води.

За рахунок застосування нових технологій, сучасне побутове обладнання водовідбору відрізняється широким асортиментом та великими можливостями. Достатньо на кілька днів відключити центральне водопостачання і вже хочеться щось зробити, щоби більше таке не повторювалося. Найоптимальніший варіант – побудувати систему автономного водопостачання з використанням свердловини чи криниці.

					ДП.АКІТ.9500098.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. СПЕЦИФІКАЦІЯ ВИБОРУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

2.1 Реалізація структури автоматизованої системи управління водонапірною вежею та функціональне представлення основних вузлів управління

Дотепер у багатьох селищах та садових товариствах для централізованого водопостачання використовуються водонапірні вежі. Незважаючи на значні габарити конструкції водонапірної вежі, система відрізняється простотою та високою надійністю. За певних умов, водонапірна вежа має низку переваг, а саме [7]:

- значна кількість споживачів;
- наявна водопровідна розв'язка споживачів, побудована раніше, яка не справляється з тиском, необхідного для застосування більш сучасних технологій;
- переважно літнє використання системи;
- місця, де часті та можливі збої з електропостачанням;
- великий запас води для виробничих потреб;

Як і кожна система водопостачання чи водовідведення, баштова система водорозподілення має й свої недоліки, а саме:

- труднощі використання водонапірної вежі в зимовий період, що даються в знаки при зменшенні споживання води;
- достатньо велика поверхня окислення водонапірної башти - вода заповнює водонапірну башту, після цього зливається з неї при цьому змочується велика внутрішня поверхня водонапірної вежі (намочена водою металічна поверхня, на повітрі викликає появу іржі, що потім попадає у воду, а водонапірні вежі здебільшого виготовляються із чорного металу);
- обмежений тиск води на виході з водонапірної башти, що визначається висотою башти.

					ДП.АКТ.9500098.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В принципі, всіх перерахованих недоліків водонапірної вежі можна позбутися, але це викличе додаткове подорожчання системи і поставить питання про доцільність переходу до іншої системи водопостачання.

Принцип роботи водонапірної вежі оснований на роботі автоматизованої системи з комплектом автоматики, що розміщена в щиті керування. Структурна схема САУ водопостачання на основі водонапірної вежі представлена на рисунку 2.1. Автоматизована система управління водопостачанням є апаратно-програмним комплексом (АПК) і призначена для безперебійної подачі води водо споживачам [7, 8].

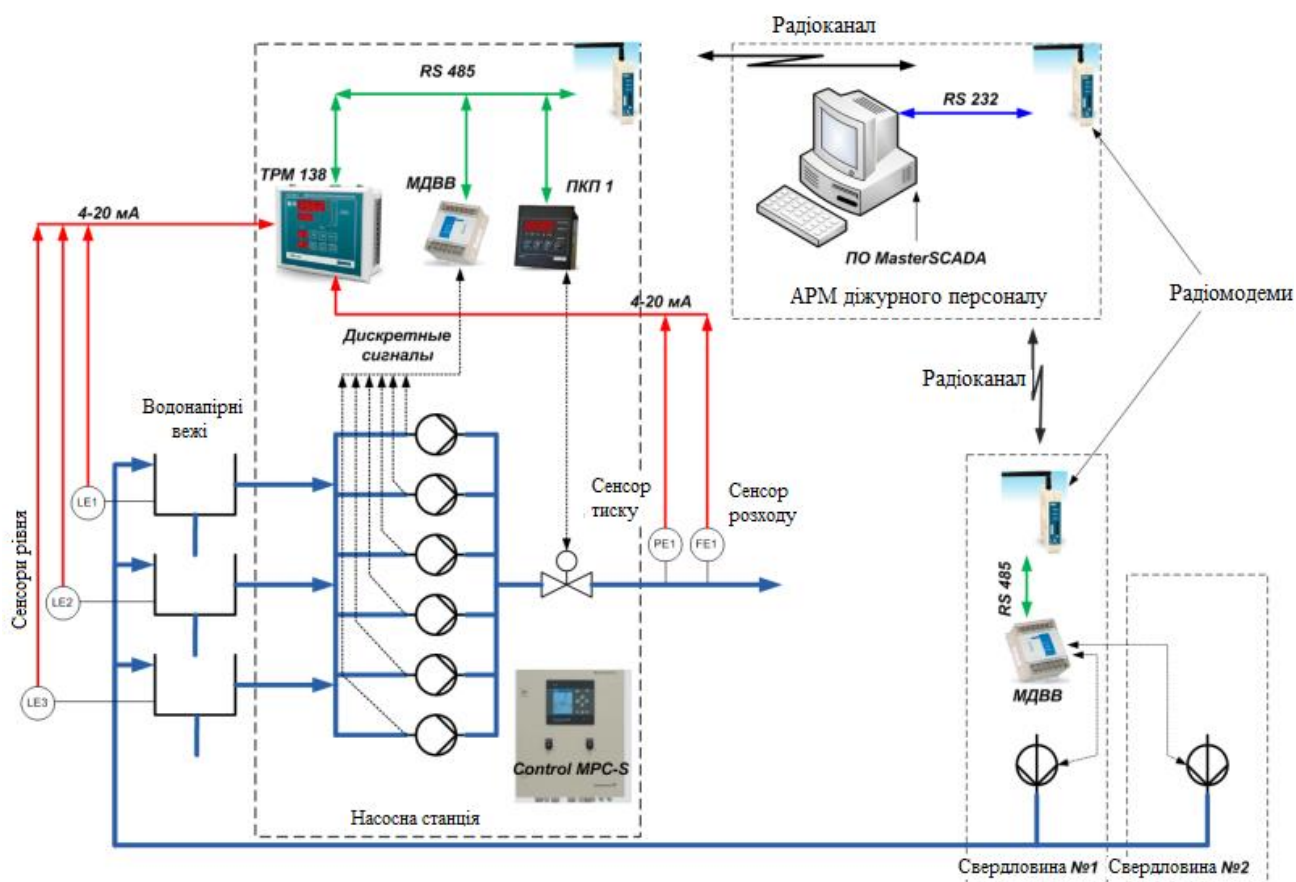


Рисунок 2.1 – Структурна схема САУ водопостачання на основі водонапірної вежі

АПК складається з програмної частини – SCADA-паketу MasterSCADA, що встановлюється на ПК у приміщенні чергового персоналу, та апаратної частини, яка розроблена на базі мікропроцесорних пристроїв

різних фірм виробників (в даному випадку розглядається мікропроцесорний пристрій ОВЕН).

До основних функціональних можливостей автоматизованої системи управління водопостачанням можна віднести:

- автоматичне управління двома віддаленими свердловинами;
- дистанційне та автоматичне керування 6-ма мережевими насосами з АРМ оперативного персоналу;
- вимірювання рівня в ємностях запасу води, тиску води у системі, витрата води до споживачів;
- управління пожежною засувкою за витратою чи тиском;
- виведення інформації та аварійної сигналізації на автоматизованому робочому місці (АРМ) оперативного персоналу.

Основний опис АСУ водопостачання включає в себе підтримку заданого тиску в подаючому трубопроводі здійснюється каскадним включенням 6-ти насосів, алгоритм включення вибирається користувачем у ПЗ MasterSCADA, також здійснюється контроль за аварійними ситуаціями на насосах і включенням резервних насосів. Інформація про аварію на насосі, роботу насоса дублюється і відображається на екрані монітора АРМ з ПЗ MasterSCADA через модулі вводу-виводу промислових мікроконтролерів ОВЕН об'єднаних в одну локальну мережу регулятором ОВЕН ТРМ138 та приладом контролю та управління засувкою ОВЕН ПКП1. На АРМ виводяться також показання сенсорів рівнів у водонапірних вежах (L1; L2; L3), тиск в трубопроводі подачі P1 і витрати води до споживача F1, підключених до ТРМ138.

При збільшенні витрати води до споживача тиск у трубопроводі знижується і система включає додатковий насос. MasterSCADA також фіксує збільшення витрати і у разі виходу значення за межі верхньої установки перемикає засувку подачі води в обхід блоку водопідготовки в автоматичному режимі, управління клапаном можна здійснювати вручну як з АРМ, так і за місцем ПКП1. Для вимірювання рівня у баках запасу води

					ДП.АКТ.9500098.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

застосовані сенсори гідростатичного тиску, на дисплеї ТРМ138 показання відображають у цифровому вигляді, на моніторі АРМ – у цифровому та графічному вигляді. При зниженні рівня нижче за мінімальний (MIN), MasterSCADA дає команду на включення насосів свердловин, а при збільшенні рівня вище максимального (MAX) – команду на відключення. Зв'язок із блоком МДВВ, встановленого в приміщенні свердловини №1, із-за віддаленості від АРМ діжурного персоналу здійснюється за допомогою радіоканалу. Всі значення параметрів, що приходять на АРМ, архівуються (глибина архіву не обмежена) і можуть відображатися як у цифрових значень, так у вигляді графіків або таблиць [8].

В АСУ водопостачання використано ряд промислового обладнання ОВЕН:

- перетворювач гідростатичного тиску (занурювальний) ОВЕН ПД100-ДГ0,06;
- перетворювач надлишкового тиску ПД100-ДІ (межа вимірювання 0...1,6 МПа, вихідний сигнал 4...20 мА);
- універсальний 8-канальний вимірювач регулятор ОВЕН ТРМ138;
- модулі дискретного вводу-виводу ОВЕН МДВВ;
- модуль дискретного вводу ОВЕН МВ110-16ДН;
- модуль дискретного виведення ОВЕН МУ110-16Р;
- прилад контролю та управління засувкою ОВЕН ПКП1;
- блок живлення БП14Б-Д4.4.24;
- блок живлення БП30Б-Д3.24;
- блок мережевого фільтра БСФ-Д3;
- перетворювачі інтерфейсів АС4 та АС5.
- радіомодем НЕВОД5 з комплектом (антена SIRO SA703, антени АН5-433);
- витратомір РСМ-05.

					ДП.АКІТ.9500098.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2 Обґрунтування вибору промислового мікроконтролерного обладнання для АСУ водозабезпечення

Правильно зпроектована автоматизована система водопостачання дозволяє забезпечити високу надійність роботи та знизити витрати на експлуатацію системи. АСУ водопостачання призначені для включення та відключення обладнання, регулювання водяного потоку, контролю тиску та інших параметрів в автономному режимі. Обладнання для автоматизації систем водопостачання дозволяє здійснювати моніторинг роботи обладнання, зокрема відстежувати оптимальне затрату електроенергії.

Коректно підібрана та встановлена автоматика систем водопостачання працює повністю в автономному режимі та практично не потребує обслуговування, за винятком обов'язкових вимог, що вказуються виробником. Автоматизація інженерних мереж водопостачання та водовідведення будівель та споруд передбачає автоматичне керування основними функціональними елементами систем.

Автоматизація систем водопостачання в основному застосовується для контролю та управління:

- насосними агрегатами водопостачання та водовідведення;
- міськими системами водопостачання;
- насосними станціями підвищення тиску;
- обладнанням систем водопостачання на промислових підприємствах;
- каналізаційними насосними станціями перекачування стічних вод;
- обладнанням очисних споруд.

Використання автоматичних пристроїв є дуже важливим, оскільки вони захищають насосне обладнання від більшості поширених загроз виходу з ладу. Наприклад, сенсор сухого ходу не дає насосу втягнути повітря через ніс, що є причиною поломки двигуна. Системи автоматизації водопостачання успішно використовуються на промислових підприємствах, на підприємствах комунальної сфери, у системі ЖКГ та у приватних будинках. Масове

					ДП.АКІТ.9500098.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

поширення засобів автоматизації для насосів водопостачання дозволило значно збільшити спектр застосування насосного обладнання в побуті та підвищити комфорт водоспоживання. Приклади застосування автоматики та контрольно-вимірювальні прилади (КВП) на підприємствах з видобутку води, на водозаборах, у магістральних водоводах, квартирних та приватних водопроводах, в опалювальних системах, для контролю роботи бойлерів, котлів та іншого водонагрівального обладнання. Контрольно-вимірювальні прилади та автоматика необхідні у системі водопостачання, опалення та кондиціонування повітря для відстеження технічних показників. Вони полегшують процес контролю якості роботи обладнання. І дозволяють точніше виставляти потрібні параметри у системі.

Сучасна автоматика системи водопостачання на основі контролерів Овен дозволяє підвищити надійність та ефективність роботи системи водопостачання. Автоматизована система управління водопостачанням є апаратно-програмним комплексом і призначена для безперебійної подачі води споживачам. Система автоматики призначена для підтримки в системі заданого тиску, захисту електротехнічного блоку насосної станції, автоматичного керування насосним обладнанням, реалізації додаткових функцій, для індикації збоїв або аварійного стану.

Більшість промислових контролерів, таких як програмовані логічні контролери (ПЛК) та програмовані контролери автоматизації (ПКА), можуть виконувати всі основні функції, у тому числі управління в реальному часі дискретними та аналоговими з'єднаннями вводу/виводу (I/O). Фактично даний тип функціональності притаманний більшості контролерів, при цьому основною проблемою є їхня здатність обробляти необхідну кількість точок вводу/виводу, що, як правило, нескладно встановити.

Однак при визначенні достатності тих чи інших промислових контролерів до застосування для вирішення певного кола завдань у конкретних додатках проблеми часто виникають при визначенні інших можливостей, таких як обробка даних, зв'язок і високошвидкісне управління.

					ДП.АКТ.9500098.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Допомогти у визначенні функцій контролерів, це вибір ПЛК під конкретне завдання, допоможе знання того, як ці функції покращують кінцеве рішення системи автоматизації.

Сучасні контролери з розширеними можливостями програмуванням на основі імен тегів (ознак) мають різні можливості щодо обробки даних, включаючи вбудовану реєстрацію. Деякі удосконалені контролери також можуть взаємодіяти зі стандартними базами даних у системах рівня підприємства, наприклад, у системі планування ресурсів підприємства (enterprise resource planning, ERP). Запис даних безпосередньо в пристрій у вигляді USB флеш-накопичувача, підключеного до контролера, теж важлива функція, часто необхідна для цілого ряду додатків. Контролери з функціями реєстрації даних часто підтримують форматований USB-накопичувач або карту MicroSD, які мають до 32 Гбайт дискового простору. Реєстрація даних зазвичай ґрунтується на відгуках на ті чи інші події або може бути запланована. Відгук на події ініціюється змінами стану, такими як перехід межі бульового тега. На відміну від цього підходу, запланована реєстрація даних налаштована так, щоб здійснювати дії, наприклад реєстрацію стану або зчитування лічильника, через задані регулярні інтервали — кожну хвилину, годину, день або місяць.

Тому при виборі ПЛК, шаф мікроконтролерного обладнання та інших промислових контролерів користувачі повинні думати не тільки про базові вимоги до управління та кількість доступних портів вводу/виводу, а й про оптимізовані рішення (шафи управління, мікроконтролерні збірки або модулі) провідних компаній виробників промислового обладнання. У багатьох додатках контролери також потребують широких можливостей щодо реєстрації даних та зв'язку, в управлінні високошвидкісними застосунками, такими як скоординований рух та передача цифрових даних з робочими параметрами підключеного обладнання [9].

Grundfos Control MPC-S 2×0,55 DOL-II+Pack, шафа керування з контролером з панеллю управління CU 352, яка дозволяє контролювати та

					ДП.АКІТ.9500098.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

керувати паралельно з'єднаними одноступінними насосами (рисунок 2.2). У системах управління Grundfos використовуються новітні алгоритми обробки та керування промисловим обладнанням. Шафа управління Control MPC включає програмно-апаратні засоби керування різного роду насосним обладнанням. Він дозволяє оптимізувати продуктивність та мінімізувати енергоспоживання, ґрунтуючись на наданих користувачем даних кривої насосних характеристик.



Рисунок 2.2 – Загальний вигляд мікроконтролерної шафи управління Grundfos Control MPC-S

Шафи управління Control MPC знімають усі комунікаційні бар'єри. Засоби контролю і управління дозволяють вибирати потрібну мову з великого списку робочих мов. Control MPC підтримує зв'язок з обладнанням для моніторингу або іншими зовнішніми блоками за допомогою різних комунікаційних протоколів. Шафи управління серії Control MPC - це ідеальне рішення для групи насосів, що працюють у системах обслуговування будівель, комунального водопостачання, а також у промисловості.

Шафа управління з інтелектуальною системою Control MPC-S Grundfos (Multi Pump Control) для насосів CR, TP, NB, NK, HS, SP, що працюють із

					ДП.АКІТ.9500098.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

постійною продуктивністю. Призначений для каскадного вмикання/вимикання від 1-го до 6-ти підключених насосів залежно від регульованої величини (тиску, температури, витрати, рівня тощо). Усі насоси повинні бути одного й того самого типу [10].

Розроблено для систем підвищення тиску, опалення, кондиціонування, вентиляції. До складу стандартного виконання входить: контролер з панеллю керування CU352 Multi Pump Control с кольоровим РК-дисплеєм (320 × 240 пікселів), силова частина, головний вимикач, автомати захисту електродвигуна, запобіжники, лампи-індикатори аварії насосів.

Основними робочими параметрами шафи управління є:

- діапазон потужності: від 0,37 кВт на один насос, до понад 75 кВт;
- температура навколишнього середовища: 0 ... +40 °С;
- напруга живлення: 3×380 В, 50 Гц;
- клас захисту: IP 54;
- спосіб пуску: до 4 кВт прямий; 5,5 кВт і вище – «зірка-трикутник»

Підбір шафи управління необхідно проводити за номінальним струмом електродвигуна насоса. Control MPC-S використовується для керування установками підвищення тиску або циркуляційними насосами в системах підвищення тиску, опалення та кондиціонування повітря, а також може керувати насосами у відкритому контурі.

Інша важлива особливість, яку слід враховувати при виборі контролера автоматизації, є можливість зв'язку, або іншими словами кажучи можливості комунікації. Тут, щоб забезпечити просту інтеграцію з людино-машинними інтерфейсами (ЛМІ), приводами двигунів та іншими пристроями, має бути доступно кілька портів Ethernet та порти послідовного зв'язку.

Важливим фактором є те, що сучасні контролери повинні мати вбудований захист, при якому у конфігурації обладнання, пов'язаного з віддаленим доступом, повинні бути включені віддалені функції, причому кожен тег у базі даних повинен бути обраний для забезпечення віддаленого доступу до нього. Крім цього, як і для будь-якого пристрою, до якого можна

					ДП.АКІТ.9500098.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

отримати доступ з Internet, рекомендується використовувати з метою безпеки брандмауер. Незважаючи на те, що функція віддаленого доступу для контролера може і повинна бути налаштована із захистом паролем, через загрози кібербезпеки в Internet, що постійно зростають, найоптимальнішою практикою є безпечне і зашифроване VPN-з'єднання.

2.3 Вибір інтерфейсних та мережевих засобів автоматизації для шафи управління водонапірної вежі

Великі швидкості, множинні фактори і параметри, що змінюються - людині фізично не дана можливість все контролювати і координувати. Тому людство і винайшло засоби автоматики: давачі, сенсори, перемикачі та багато іншого, а собі людина залишила функції контролю. Широке вдосконалення, розвиток та інноваційні створення кардинально нових технологій тісно пов'язані з автоматизацією та автоматичним управлінням у промисловому виробництві [10, 11].

Автоматизація промислових процесів має на увазі під собою насичення технологій виробництва різними пристроями для координації роботи механізмів, а також для контролю за технологічними параметрами, якістю продукції та рівнем безпеки для людини і можливості пошкодження обладнання. Сучасна автоматизація процесів може включати мінімум кілька алгоритмічних кроків: збір інформації у вигляді параметричних показань сенсорів, обробка отриманих даних, вироблення програми дії на основі отриманих сигналів управління.

Основною ланкою будь-якого виробництва, як і раніше, залишається електричний привід. Ступінь автоматизації управління системами електроприводів визначає безпеку праці, зайнятість населення, кількість, якість і собівартість всього товару. Але автоматичне управління електроприводом не можна розглядати поза контекстом цілісної САУ технологічними процесами.

					ДП.АКТ.9500098.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Сучасні автоматичні та АСУ технологічними процесами неможливо уявити без шаф керування. У цих шафах комплектуються пристрої та засоби автоматизованого керування та захисту. В залежності від умов експлуатації керованого об'єкта, вимог до ступеня автоматизації та безпеки експлуатації шафи керування:

- виготовляються у відкритому, закритому та ізольованому виконанні;
- монтуються на відкритих площах або у приміщенні;
- забезпечують ручне, автоматичне та напівавтоматичне керування та регулювання;
- оснащуються апаратами захисту, управління різного класу та ступенем новизни.

Проектування, комплектування та монтаж шафів управління та автоматичних систем здійснюють організації, спеціалізованими компанія під певне обладнання. Тому первинна класифікація шаф управління ґрунтується на технологічному призначенні керованого об'єкта.

Шафи керування (ШК) для насосних установок вимагають особливої уваги та забезпечення високого рівня безпеки. Комплектація шаф служить для автоматичної підтримки та регулювання тиску на заданому рівні. Забезпечується керування в ручному та автоматичному режимах, що значною мірою визначає продуктивність роботи насосів. При зазначених вимогах електроприводу ШК можуть забезпечувати плавний або прямий пуск. Наявність енергозалежних елементів пам'яті дозволяє мобільно відтворити параметри після аварійного відключення системи.

ТРМ138В восьмиканальний регулятор для зон підвищеної енергобезпеки з RS-485 (рисунок 2.3). Аналог ТРМ138 із вбудованими бар'єрами іскрозахисту може застосовуватись у харчовій, медичній, хімічній, нафтопереробній промисловості. Призначений для підключення сенсорів у вибухонебезпечних зонах. Може бути застосований як багатозоновий регулятор, багатопорогової сигналізації, а також як восьмиканальний активний бар'єр іскрозахисту [11].

					ДП.АКТ.9500098.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.3 – Загальний вигляд ТРМ138В восьмиканального регулятора для роботи з різнотипними сенсорами

Функціональні особливості регулятора ОВЕН - ТРМ138В:

- 8 універсальних входів щоб підключити від 1 до 8 сенсорів різного виду в різних комбінаціях, що дає можливість одночасно вимірювати та контролювати ряд різних фізичних параметрів (температуру, тиск, вологість);
- вбудований бар'єр іскрозахисту для ліній зв'язку приладу з сенсорами;
- обчислення додаткових параметрів: значень від 2 до 8 виміряних параметрів, різниць поміряних параметрів швидкості зміни вимірюваної величини;
- до восьми каналів регулювання за двопозиційним законом (для каналів з ВП типу РКС) або фіксації на виході струму 4...20 мА;
- вісім встроєних вихідних пристроїв різного роду обраній користувачем послідовності;
- режим ручного керування вихідними пристроями;
- вбудований інтерфейс RS-485 (Modbus ASCII/RTU).

Пристрій контролю приводів - ПКП1 управління та захист електроприводу засувки без кінцевих вимикачів представлений на рисунку 2.4.

					ДП.АКІТ.9500098.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38



Рисунок 2.4 – Загальний вигляд ПКП1 пристрою для управління електроприводами

Пристрій (рисунок 2.4) ПКП1 призначений для управління та контролю роботою засувки, затворів для захисту механізмів, електропроводів в процесі заклинювання без застосування вимикачів. ПКП-1 успішно і найактивніше використовується у системах водопостачання.

Функціональні можливості ПКП1:

- автоматична зупинка електроприводу при досягненні засувки кінцевого положення без використання кінцевих вимикачів;
- контроль необхідного положення засувки: у ПКП-1Т – по часом її пересування по струмі, що споживається електродвигуном; у ПКП1 – за кількістю оборотів валу та часом проходження імпульсів, що надходять з сенсора на валу засувки.
- вимкнення управління приводом з відтворенням сигналу «аварія» при моменті заклинювання засувки чи прослизання механізмів електроприводу;
- збереження інформації про знаходження засувки під час знеструмлення;
- реєстрація знаходження засувки при встановленні модуля стоковим виходом 4...20 мА;

					ДП.АКТ.9500098.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

- реєстрація положення засувки та управління приводом під час встановлення інтерфейсного модуля RS - 485 для зв'язку обладнання з ПК.

Засоби вимірювання та контролю ПКП-1 виготовляються у двох модифікаціях: ПКП-1Т – прилад призначений для управління та контролю положення заслонки по часу її переміщення та струмом, що використовується електродвигуном [12].

Блок мережевого фільтра БСФ-ДЗ представлений на рисунку 2.5 і призначений для захисту двох провідникової мережі змінного струму, що живить пристрої та сенсори, від імпульсних та високочастотних перешкод.



Рисунок 2.5 – Загальний вигляд блока мережевого фільтра БСФ-ДЗ

Блоки БСФ-ДЗ випускаються у корпусах, призначених для кріплення на DIN рейку 35 мм та у 2 модифікаціях:

- ОВЕН (БСФ-Д2-0,6) - корпус Д2, габарити - 36x90x58 мм, струм навантаження 0,6 А;
- ОВЕН (БСФ-Д3-1,2) - корпус Д3, габарити - 54x90x58 мм, струм навантаження 1,2 А.

Пріоритетні функції блока мережевого фільтра БСФ-ДЗ:

- захист електроустаткування від дії перешкод, що проникають із мережі живлення;

					ДП.АКТ.9500098.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

- захист мережі від емісії перешкод підключеного працюючого електрообладнання;
- ослаблення імпульсних перешкод;
- придушення високочастотних перешкод.

Блок мережевого фільтра також ефективно захищає обладнання електричних шаф від імпульсних та високочастотних перешкод.

Сенсори ПД100 модель 1x1 - перетворювач надлишкового тиску вимірювальний орієнтовані для АСУ водо забезпечення представлений на рисунку 2.6.



Рисунок 2.6 – Загальний вигляд сенсора ПД100 модель 1x1 надлишкового тиску

Малогабаритний сенсор ПД100 є вимірювальним перетворювачем із сучасним сенсором структури КНК з мембраною з нержавіючої сталі, мікропроцесорним нормуванням, вихідним сигналом 4...20 мА та первинною повіркою. Перетворювач надлишкового тиску ПД100 призначений для насосних станцій водоканалів, систем водопідготовки та водопостачання, промислових компресорних, насосних станцій, автоматики котлів та котелень, маслостанцій та інших допоміжних та основних виробництв, де потрібна точність та стабільність характеристик [10-12].

Середовище вимірювання представленого сенсора - газу, пара, вода, слабоагресивні рідини, нейтральні до нержавіючої сталі AISI 316L (AISI 304S).

					ДП.АКІТ.9500098.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

Відмінні особливості сенсорів ПД100:

- широкий діапазон вимірюваного тиску;
- стійкість до агресивних середовищ – сенсор вварений у штуцер лазерним зварюванням;
- стійкість до вологи – плата нормуючого перетворювача покрита герметиком;
- стійкість до гідроударів;
- стабільне значення "нуля" перетворювача;
- основні характеристики: верхня межа вимірів – від 0,016 до 100 МПа; тип вимірюваного тиску – надлишкове; діапазон температур вимірюваного середовища: -40 ... +100 °С; клас точності – 0,5%; 1%; міжповірочний інтервал - 2 роки.

Модуль цифрових входів та виходів (МДВВ) для розподілених систем у мережі RS-485 (протоколи ОВЕН, Modbus, DCON), загальний вигляд якого представлений на рисунку 2.7.



Рисунок 2.7 – Загальний вигляд модуля дискретних входів/виходів мережі RS-485

Модуль (рисунок 2.7) може використовуватись спільно з промисловими контролерами ОВЕН ПЛК або іншими промисловими мікроконтролерами, працює в мережі RS-485 за присутності в ній "майстра", тоді як сам МДВВ не є "майстром" даної мережі. Вище згаданий модуль реалізується у корпусі Д9 для стандарту кріплення на DIN рейку.

Основні функції МДВВ:

					ДП.АКІТ.9500098.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

- 12 цифрових входів для під'єднання контактів сенсорів та ключів транзисторних n-p-n типу;
- можливість застосування будь-якого цифрового входу в режимі лічильника (з максимальною частотою сигналу – 1 кГц);
- 8 вбудованих цифрових вихідних елементів у будь-яких комбінаціях: реле 8А (220В);
- оптотранзисторний ключ з параметрами - 400мА (60 В);
- оптосимістор з параметрами - 0,5 А (300 В) для керування твердотілим реле;
- здатність генерації ШІМ-сигналу на будь-якому із виходів;
- автоматичний переведення виконавчого пристроїв в аварійний режим роботи за порушення мережного обміну;
- реєстрація стану цифрових входів та вихідних елементів (ШІМ);
- завадостійкість завдяки перерахованих умовах: вбудованому імпульсному джерелі живлення 90-264V (47-63 Гц); гальванічній розв'язці у ланцюгах виходів, живлення та інтерфейсу RS-485; використання захисних елементів у ланцюгах цифрових входів.

2.4 Вибір електромеханічних засобів автоматизації системи управління водопостачання

Виконавчі механізми систем автоматичного регулювання можуть мати різні типи вхідних сигналів. Так, деякі управляються уніфікованим сигналом 4-20 мА (0-10 В), деякі для регулювання використовують один дискретний вхід (наприклад, регулятор температури в печі), а деякі - два дискретні входи (наприклад, регулятор тиску пари в апараті управляє засувкою: використовуються два сигнали – один на відкриття, а інший – на закриття засувки). У регуляторах прямої дії силовою частиною є чутливий елемент виконавчого механізму. При зміні регульованої величини він розвиває зусилля, що використовується зміни ступеня відкриття регулюючого органу.

					ДП.АКІТ.9500098.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У регуляторах непрямої дії це зусилля створюється приводом, який використовує допоміжну енергію - енергію стисненого повітря, рідини та електричну. Відповідно з цим приводи бувають пневматичними, електричними та гідравлічними [13].

Електричні виконавчі механізми можна розділити на дві основні групи: соленоїдні (електромагнітні) та електромеханічні. Особливість соленоїдних виконавчих механізмів у тому, що необхідність перестановки робочого органу зусилля створюється з допомогою електромагніту, що забезпечує поступальний рух вихідної ланки. Такі механізми застосовуються переважно у схемах двопозиційного регулювання (відкрито — закрито), оскільки регулюючий орган може бути у двох крайніх положеннях. Крім того, клапани з таким приводом мають можливість гідравлічного удару за рахунок практично миттєвого перекриття потоку рідини. Вони застосовуються тільки для клапанів малого діаметра, що не потребують великих зусиль перестановки. Соленоїдний привід застосовується для різних допоміжних перемикачів у системах автоматичного регулювання та керування, а також для блокування у виробничих процесах шляхом відкриття або закриття технологічних ліній.

Як привід насосних станцій широко використовуються одно-або трифазні електродвигуни змінного струму. При всіх своїх перевагах ці електричні двигуни мають один серйозний недолік, яким є складність регулювання швидкості та моменту на валу. Основними характеристиками насосних агрегатів є витрата та тиск. Ці параметри регулюються за допомогою запірно-регулюючої арматури, включенням у роботу додаткових насосів за каскадної схеми регулювання.

Принцип регулювання заснований на залежності швидкості обертання ротора електричного двигуна від частоти напруги живлення. Частотний перетворювач (ЧП) змінює частоту напруги живлення електроприводу насосних агрегатів (рисунок 2.8).

					ДП.АКТ.9500098.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Більшість ЧП виконані з урахуванням схеми подвійного перетворення. Змінна напруга в мережі випрямляється, згладжується на LC фільтрах, потім надходить на інвертор, де знову перетворюється на змінну напругу іншої частоти. Постановка параметрів частоти здійснюється широтно-імпульсним модулятором, сигнали з якого по черзі відмикають та замикають ключі на силових транзисторах інвертора. Частотні перетворювачі мають дискретні та аналогові виходи для підключення сенсорів тиску, температури, приладів вимірювання витрати, віддалених пристроїв керування та контролю, аварійної сигналізації тощо. Обробка даних відбувається у блоці управління з урахуванням мікропроцесора. Схема керування частотника генерує сигнали на зміну продуктивності, включення або відключення насосних агрегатів відповідно до заданої програми та зміни технологічних параметрів у системі водопостачання.



Рисунок 2.8 – Загальний вигляд частотного перетворювача INNOVERT ITD152U21B2 для занурю вальних насосів

Для прикладу, найпростіша схема регулювання продуктивності насосів із зворотним зв'язком по тиску в мережі водопостачання працює наступним чином, при падінні тиску частотний регулятор формує сигнал на включення насосних агрегатів. Запуск відбувається у плавному режимі, що запобігає гідроударам. При наростанні тиску сигнал з сенсора надходить на частотник,

					ДП.АКІТ.9500098.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

який плавно змінює швидкість обертання приводного двигуна і знижує продуктивність насосів. Така схема може містити додаткові насосні агрегати при пікових значеннях водоспоживання.

Основними технічними параметрами частотного перетворювача INNOVERT ITD152U21B2 є дані представлені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Технічними параметрами частотного перетворювача
INNOVERT ITD152U21B2

Виробник	Bosch Rexroth
Тип	Частотний перетворювач
Серія	VFC5610
Номинальна напруга мережі, В	380...480
Номинальна частота мережі, Гц	50/60
Кількість фаз мережі	3
Вихідна напруга, В	380...480
Вихідна частота навантаження, Гц	0...400
Потужність навантаження (нормальний режим), кВт	37/45
Тип управління	скалярне
Перевантажувальна можливість, %	120/150%
Фільтр ЕМС	зовнішній
Типи двигунів	Асинхронні двигуни
Захисти привода	Захист від перегріву привода Коротке замикання між фазами двигуна Надвеликий струм між вихідною фазою і землею Перенапруга на шині постійного струму Відключення в ланцюзі управління привода Від перевищення допустимої швидкості Підвищена і понижена напруга лінії живлення привода Від зникнення фази на вході привода Тепловий захист двигуна Зникнення фази двигуна
Кількість дискретних входів, шт	5
Кількість дискретних виходів, шт	1СО
Кількість аналогових входів, шт	2
Кількість аналогових виходів, шт	1
Фізичний інтерфейс	RS-485
Степінь захисту, IP	IP20
Робоча температура, °С	-10...40
Температура зберігання, °С	-20...60

					ДП.АКІТ.9500098.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

За протоколами зв'язку, що підтримуються. Для коректного обміну даними з автоматизованими пристроями керування або віддаленого контролю параметрів, потрібен частотний перетворювач, що підтримує протокол, що використовується в CAN (CAN, LAN або інші).

В якості перегороджувальних засобів, арматури на контрольних вузлах САУ водопостачання використовуються електроклапані механізми різної пропускної спроможності. В даному випадку це електромагнітний клапан ЕЛЕКТРОGAS EVRMNA 4F-0,5 бар Ду 1 (рисунок 2.9).



Рисунок 2.9 – Загальний вигляд електромагнітного фланцевого клапана
ЕЛЕКТРОGAS EVRMNA 4F-0,5 бар

ЕЛЕКТРОGAS EVRMNA 4F-0,5 бар - це електромагнітний фланцевий клапан безпеки з відкритим у нормальному стані. Клапан EVRMNA застосовується для блокування подачі води до водопровідної лінії. Клапан EVRM-NA Ду 1 1/2" вручну наводиться в зведений стан. Живлення змінним струмом або струмом розряду конденсатора, викликаного детектором витоку, аварійного стану призводить до розчеплення механізму та негайного перекриття водяного потоку. Після усунення причин блокування можна знову відкрити клапан, звівши його вручну. Пристрій такого типу у поєднанні з одним або декількома сенсорами витоку води або аварійною сигналізацією за наявності оксидів вуглецю призначений для операцій блокування на лінії водопроводу. Електромагнітний клапан EVRMNA має

					ДП.АКІТ.9500098.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вбудований фільтр тонкого очищення, який запобігає налипанню на сідло клапана бруду та осаду [14].

Технічні характеристики електромагнітного клапана Електрогаз EVRM NC DN 40 мм є наступні:

- робоче середовище - не агресивні рідини;
- приєднання (монтаж) - фланцевий (DN40);
- температурне середовище експлуатації - 20 ° +60 ° С;
- напруга живлення електронної частини - 12V, 24V, 110V, 230V - змінного струму, 12V, 24V - постійного струму;
- допустимі відхилення напруги -15% ... +10%;
- максимальний робочий тиск (8-10 bar);
- час закриття (спрацювання) - менше 1 сек;
- ступінь захисту - IP 65.

Крани кульові з сервоприводом ALSO КШ.Ф.Р DN-005 універсальні з цільнозварним корпусом призначені для водопровідних систем зовнішніх і внутрішніх теплових мереж при температурі носія до 200 °С, у тому числі для води в контурах теплових мереж (рисунок 2.10). Застосовуються також для монтажу на трубопроводи та спорудах, що транспортують неагресивний природний газ, зріджені вуглеводні, нафтопродукти та інші рідкі та газоподібні середовища, стосовно яких матеріали крана корозійностійкі.



Рисунок 2.10 – Загальний вигляд крана сервоприводом ALSO КШ.Ф.Р Ду65

Основний робочий елемент крана ALSO – куля, виготовлена із нержавіючої сталі. Сідлове ущільнення кулі виконано з вуглецевого

					ДП.АКІТ.9500098.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

фторопласту Ф4К20 (тефлон/PTFE+20%С), що практично виключає його знос в процесі експлуатації крана. Кожен кран кульовий ALSO універсальної серії має клас герметичності "А".

Електроприводи чвертьоборотні призначені для дистанційного та місцевого управління обертанням запірною органу на $0^{\circ} \sim 270^{\circ}$ таких типів як кульовий кран. Вони широко застосовуються у різних галузях народного господарства: у газовій, нафтовій, металургійній, харчовій промисловості, у житлово-комунальному господарстві. Електроприводи встановлюються безпосередньо на трубопровідній арматурі. Чотири мікрорелевикористовуються для обмеження ходу вихідного валу кінцевим положенням робочого органу арматури. Електроприводи розраховані на роботу в номінально-короткочасному режимі.

Основними параметри електроприводу DN-005 є:

- тип електроприводу – чверть оборотний;
- обертовий момент електроприводу – 50 Нм;
- час циклу (поворот на 90°) - 30 сек;
- потужність електродвигуна – 100 Вт;
- номінальний споживаний струм – 0.25 А;
- напруга живлення – 220 В;
- напруга живлення кінцевих вимикачів - 220 В;
- тип ISO фланця – F05, F07.

					ДП.АКІТ.9500098.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ

3.1 Розробка функціональної схеми комплексу технічних засобів

Системи автоматичного регулювання (САР) застосовуються регулювання окремих параметрів (температура, тиск, рівень, витрата тощо.) в об'єкті управління. У сучасних САУ системи автоматичного регулювання є підсистемами САУ та їх застосовують для регулювання різних параметрів під час управління об'єктом чи процесом. Принцип дії будь-якої САР полягає в тому, щоб виявляти відхилення регульованих величин, що характеризують роботу об'єкта або перебіг процесу від необхідного режиму і при цьому впливати на об'єкт або процес так, щоб усувати ці відхилення.

Для здійснення автоматичного регулювання до об'єкта, що регулюється, підключається автоматичний регулятор, що виробляє керуючий вплив на регулюючий орган. Ця керуюча дія виробляється регулятором залежно від різниці між поточним значенням регульованої величини (температури, тиску, рівня рідини), що вимірюється сенсором, і бажаним значенням, що встановлюється за сенсором. Регульований об'єкт та автоматичний регулятор разом утворюють систему автоматичного регулювання. Основною ознакою САР є наявність головного зворотного зв'язку, по якій регулятор контролює значення регульованого параметра [15].

Для виконавчих механізмів САУ водонапірною вежею приділяється основна увага дозуючим засувкам (заслонкам) з електроприводом, які дозволяють перекривати магістраль водопостачання у випадку виникнення пробоїв або аварійних витоків на магістралях водопровідної труби. Це дозволяє запобігати різким падінням тиску, а також підтопленню виробничих, господарських приміщень в разі аварійних ситуацій.

Дистанційна система відслідковування електропривода управління положенням об'єкта наведена на рисунку 3.1, служить для дистанційної передачі кута повороту командної осі з одночасним підсиленням по

					ДП.АКТ.9500098.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

потужності. До складу системи входить елемент порівняння ЕП, зібраний на потенціометрах П1 і П2, підсилювач V, виконавчий двигун Д, погоджуючий редуктор і об'єкт управління ОУ (об'єктом управління може виступати насосна станція). Вплив у вигляді кута повороту α_1 надходить на ручку управління потенціометра П1.

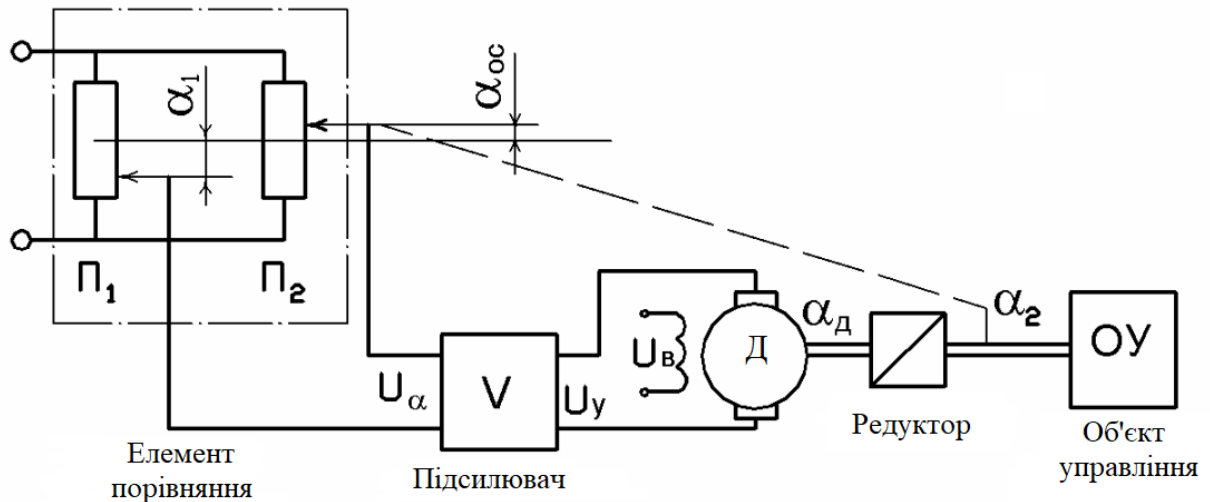


Рисунок 3.1 – Схема слідкуючого електропривода управління насосної станції

При повороті ручки управління потенціометра П1 відбувається неузгодженість з положенням ручки управління потенціометра П2, яке визначається кутом повороту α_2 вихідного валу редуктора заслінки. На виході елемента порівняння виникає напруга U_α пропорційна куту $\alpha = \alpha_1 - \alpha_2$. Ця напруга U_α надходить на підсилювач, де підсилюється до значення U_y , причому величина та знак його залежатимуть від величини та знаку кута неузгодженості. Отримана напруга U_y визначає поворот ручки управління в потрібну сторону на кут, пропорційний α . Двигун через редуктор керує об'єктом управління, а також ручкою управління потенціометра П2 до тих пір, поки поворот ручки управління П2 не буде дорівнювати повороту ручки потенціометра П1 і напруга, що знімається з елемента порівняння, не стане рівним 0. Тим самим здійснюється жорсткий зворотний зв'язок. В

узгодженому положенні $\alpha_1 = \alpha_2$ двигун не обертається. Функціональна схема описаної системи представлена на рисунку 3.2.

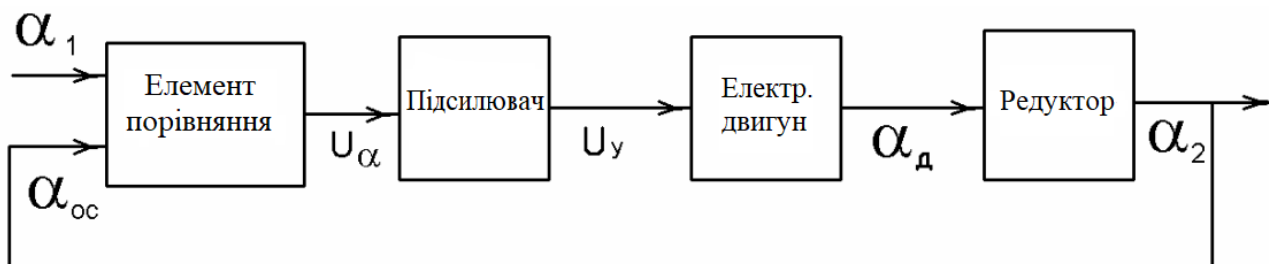


Рисунок 3.2 – Функціональна схема слідкуючого електропривода

Для аналізу роботи всієї системи автоматичного управління необхідно скласти диференціальні рівняння та передавальні функції, що характеризують поведінку кожної ланки, яка входить у систему.

Диференціальне рівняння для двигуна постійного струму з регулюванням напруги в ланцюзі якоря виводиться з урахуванням моменту інерції J_H і моменту опору M_H навантаження, які прикладаються до вала двигуна. Якщо знехтувати індуктивністю ланцюга якоря і силою тертя, то рівняння динамічної рівноваги електродвигуна запишеться у вигляді [16]:

$$M_j + M_n = M_\delta,$$

$$J \frac{dn_\delta}{dt} = K_M I_\alpha - M_n.$$

В даному рівнянні M_j - момент сил інерції, M_δ - момент двигуна, n_δ - частота обертання двигуна, I_α - струм у якорному ланцюзі, K_M - коефіцієнт, що залежить від конструктивних параметрів двигуна, J - наведений момент інерції якоря з урахуванням моменту інерції навантаження J_H :

$$J = J_\delta + K_p^2 J_n = \frac{GD^2}{4} + K_p^2 J_n.$$

$$K_p = \frac{l}{i_p},$$

де J_d - момент інерції якоря, i_p – передаточне відношення редуктора, $GD2$ – маховий момент якоря (зазвичай наводиться у паспортних даних електродвигуна).

Враховуючи, що

$$I_{я} = \frac{U_y - K_e n_{\partial}}{r_{я.ц.}}$$

отримаємо

$$J \frac{dn_{\partial}}{dt} + \frac{K_e K_M}{r_{я.ц.}} n_{\partial} = \frac{K_M}{r_{я.ц.}} U_y - M_H.$$

$$n_{\partial} = \frac{d\alpha_{\partial}}{dt}$$

Замінивши

отримаємо рівняння динаміки для зміни кута повороту α_d електродвигуна:

$$J \frac{d^2 \alpha_{\partial}}{dt^2} + \frac{K_e K_M}{r_{я.ц.}} \frac{d\alpha_{\partial}}{dt} = \frac{K_M}{r_{я.ц.}} U_y - M_H.$$

Для вибраного електродвигуна коефіцієнти K_e та K_M визначаються за його номінальними параметрами наступним чином:

$$K_e = \frac{U_{уном} - r_{я.ц.} I_{я.ном}}{n_{ном}} \quad K_M = \frac{M_H}{I_{я.ном}},$$

або через конструктивні незмінні C_e та C_M :

$$K_e = C_e \Phi; \quad K_M = C_M \Phi,$$

де $r_{я.л}$ - опір якорного ланцюга, Φ – потік збудження.

$$C_e = \frac{PN}{a \cdot 60}; \quad C_M = \frac{PN}{2\pi \cdot a},$$

де P – кількість полюсів двигуна, N – число активних провідників якоря (рівно подвоєному числу віток обмотки якоря $\omega_{я}$), a – число пар паралельних гілок обмотки якоря.

Звернувши увагу на співвідношення,

$$C_e / C_M = K_e / K_M = 2\pi / 60 = 0,105$$

при початкових умовах

$$U_y = U_{y0}; \quad M_H = M_{H0H}$$

нерівність статички має вигляд:

					ДП.АКТ.9500098.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\frac{K_M}{r_{я.ц.}} U_{y0} - M_{H0} = 0.$$

Оскільки задане рівняння лінійне (отже, не потрібно проводити його лінеаризацію) то, віднімаючи з нього рівняння статички, отримаємо вираз для рівняння динаміки в приростах:

$$J\Delta\left(\frac{d^2\alpha_\delta}{dt^2}\right) + \frac{K_e K_M}{r_{я.ц.}} \Delta\left(\frac{d\alpha_\delta}{dt}\right) - \frac{K_M}{r_{я.ц.}} \Delta U_y + \Delta M_H = 0.$$

Для величини

$$\Delta\alpha = \alpha - \alpha_0; \quad \Delta U_y = U_y - U_{y0}; \quad \Delta M = M_H - M_{H0}$$

позначають малі відхилення відповідних змінних від їх значень у статичці α_0, U_{y0}, M_{H0} . Розділивши всі члени рівняння на коефіцієнт при $\Delta(d\alpha_\delta/dt)$ та ввівши позначення:

$$T_\delta = J \frac{r_{я.ц.}}{K_e K_M}; \quad K_\delta = \frac{1}{K_e}; \quad K_H = \frac{r_{я.ц.}}{K_e K_M},$$

отримаємо нормалізоване рівняння динаміки в приростах,

$$T_\delta \Delta\left(\frac{d^2\alpha_\delta}{dt^2}\right) + \Delta\left(\frac{d\alpha_\delta}{dt}\right) = K_\delta \Delta U_y - K_H \Delta M_H$$

чи в операторній формі

$$p(T_\delta p + 1) \alpha_\delta(p) = K_\delta U_y(p) - K_H M_H(p).$$

При цьому коефіцієнт T_δ має розмірність в секундах і називається незмінною часу; коефіцієнти K_δ і K_H є безрозмірними величинами, що називаються коефіцієнтами підсилення. Звідси передавальна функція електродвигуна по керуючому впливу:

$$W(p)_\delta = \left. \frac{\alpha_\delta(p)}{U_y(p)} \right|_{M_H=0} = \frac{K_\delta}{p(T_\delta p + 1)}.$$

Передавальна функція по моменту, що збурює

$$W(p)_H = \left. \frac{\alpha_\delta(p)}{M_H(p)} \right|_{U_y=0} = \frac{K_H}{p(T_\delta p + 1)}.$$

					ДП.АКІТ.9500098.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

3.2 Розрахунок передаточної функції елементів автоматизованої системи

Тип підсилювача визначається типом електродвигуна та його потужністю. Для двигуна постійного струму, в якому керування швидкістю обертання здійснюється зміною напруги в якорі, можуть застосовуватися електронні, магнітні або електромашинні підсилювачі, передавальна функція яких може бути отримана аналогічним чином. При певних допусках для більшості підсилювачів вона має вигляд [15-17]:

$$W(p)_y = \frac{U_y(p)}{U_\alpha(p)} = \frac{K_y}{T_y p + 1},$$

де K_y – коефіцієнт посилення підсилювача, T_y – незмінна підсилювача часу.

Передавальна функція сенсора виражається наступним рівнянням:

$$U_\alpha = K_\alpha \Delta\alpha, \quad \text{де} \quad \Delta\alpha = \alpha_{oc} - \alpha_l;$$

U - напруга на виході сенсора, K - коефіцієнт підсилення сенсора.

Передавальна функція сенсора має вигляд:

$$W(p)_\alpha = \frac{U_\alpha(p)}{\Delta\alpha(p)} = K_\alpha.$$

Рівняння, що виражає значення параметрів редуктора має вигляд:

$$\alpha_2 = K_p \alpha_d,$$

де α_d – кут повороту на вході редуктора, α_2 – кут повороту на виході редуктора, K_p – коефіцієнт передачі редуктора.

Рівняння, що представляє параметри зворотного зв'язку має вигляд:

$$\alpha_{oc} = K_{oc} \alpha_2,$$

де K_{oc} – коефіцієнт зворотного зв'язку, тому

$$W(p)_{зв} = \frac{\alpha_2(p)}{\alpha_{зв}(p)} = K_{зв}.$$

Приймаючи коефіцієнт зворотного зв'язку рівним 1 отримаємо $\alpha_2 = \alpha_{oc}$.

Відповідно до передавальних функцій окремих ланок складається структурна схема САУ. Для електропривода насосної станції структурна

					ДП.АКТ.9500098.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

схема представлена на рисунку 3.3. Використовуючи метод структурних перетворень визначаються передавальні функції всієї системи.

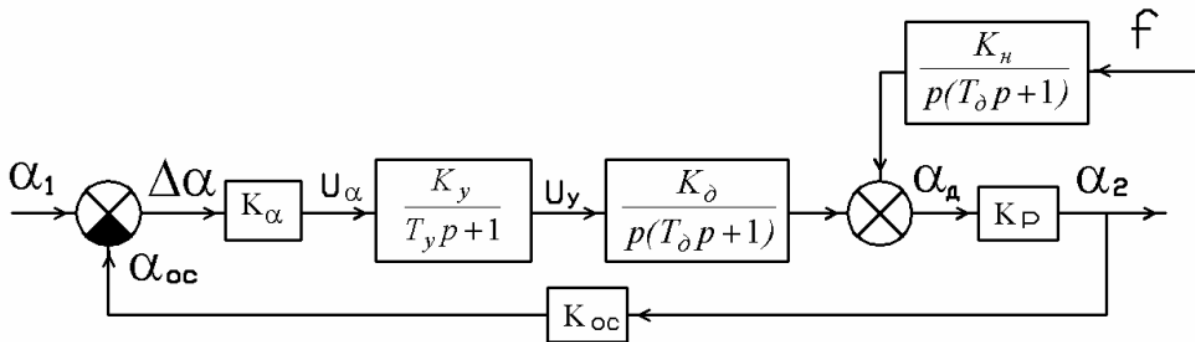


Рисунок 3.3 – Структурна схема електропривода насосної станції

САУ, що представлено на рисунку 3.3 є замкнутою системою з негативним головним зворотним зв'язком. У теорії САУ широко використовуються методи дослідження замкнутих систем з поведінки відповідних їм розімкнених систем, які отримуються з замкнутих розривом ланцюга головного зворотного зв'язку (рисунок 3.4). Для цієї мети необхідно скласти передавальні функції як замкнутої, так і розімкнутої системи.

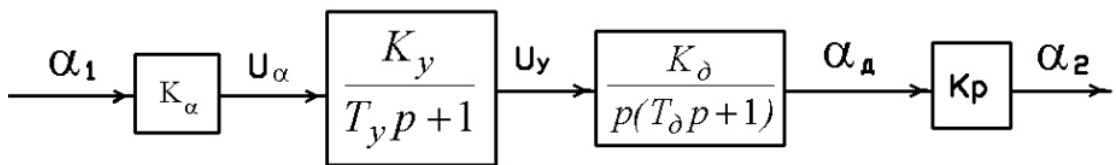


Рисунок 3.4 – Структурна схема розімкненої системи

Передавальна функція розімкнутої системи за сигналом, що керує виглядає наступним чином:

$$W(p)_\alpha = W_\alpha W_y W_\delta W_p = \frac{K}{p(T_y p + 1)(T_\delta p + 1)}$$

де $K = K_\alpha K_y K_\delta K_p$.

Передавальна функція замкнутої системи за сигналом керування має вигляд:

$$\Phi(p)_\alpha = \frac{W(p)_\alpha}{1 + W(p)_\alpha W(p)_{oc}} = \frac{K}{p(T_y p + 1)(T_\delta p + 1) + K K_{oc}}$$

3.3 Статичний та динамічний розрахунок математичної моделі САУ

Після складання структурної схеми проводиться підбір основних елементів системи (виконавчого двигуна, основного підсилювача потужності) та визначення їх параметрів: потужності, коефіцієнтів підсилення, постійних часу. У цьому слід забезпечити правильне узгодження елементів, виду енергії, значення струму, потужності керування. Параметри елементів визначаються розрахунковим шляхом, а за можливості також і експериментально на підставі їх статичних та частотних характеристик. При проектуванні електроприводу основним моментом статичного розрахунку є вибір потужності виконавчого двигуна. Раціональне значення потужності електродвигуна системи керування дозволяє зменшити споживання енергії, отримати мінімальні габарити та масу САУ. У автоматизованих системах електроприводи зазвичай використовуються з двигунами постійної та змінної напруги [16].

У виконавчих пристроях з метою скорочення маси та габаритів системи найчастіше застосовуються електродвигуни, частота обертання яких перевищує необхідні частоти обертання вхідного вала навантаження. Тому двигуни з'єднуються із навантаженням через редуктор. При виборі потужності виконавчого механізму (двигуна) необхідно визначити коефіцієнт передачі редуктора K_p , при якому забезпечується задана частота обертання та прискорення на вхідному валу навантаження, а необхідна потужність двигуна є мінімальною.

Визначення параметрів слідкуючої позиційної системи зазвичай проводиться в суворій послідовності, що визначається наступними пунктами.

1. По заданій величині моменту опору навантаження та швидкості зпрацювання визначається потужність двигуна:

$$P_{d.\max} = \lambda \frac{M_H \omega_{p.\max}}{\eta_p},$$

					ДП.АКТ.9500098.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

де λ – коефіцієнт запасу потужності (для швидкої реакції на вихідний тиск води в трубопроводі споживачів та можливості його регулювання за допомогою насосної станції $\lambda=4\div 6$);

ω_p – кутова швидкість на виході редуктора визначається в межах від ω_{pmin} до ω_{pmax} . (для насосних станцій спеціального призначення електропривід повинен забезпечувати плавне регулювання вихідних тиском насосної станції в діапазоні кутових швидкостей редуктора заслінки від ω_{min} до $\omega=0,04\div 0,06$ 1/с, грубе регулювання з $\omega=0,06\div 0,18$ 1/с та режим відсікання в разі аварійних ситуацій з $\omega=0,30\div 0,60$ 1/с);

η_p - ККД редуктора в залежності від положення заслінки його тиск коливається в межах $0,6\div 0,9$.

2. За довідковою літературою та каталогами вибирається марка електродвигуна за знайденим значенням $P_{d,max}$ та виписуються його технічні дані (характеристика деяких двигунів постійного струму наведено у таблицях технічного паспорта виробу).

3. Визначається значення коефіцієнта запасу потужності P , що дорівнює відношенню потрібної потужності на привід до потужності обраного двигуна, а саме [17]:

$$P = \frac{P_{d,max}}{\lambda P_d}$$

За графіками рисунка 3.5 для отриманого значення P знаходяться поправочні коефіцієнти q , λ і T .

4. Коефіцієнти рівняння двигуна визначаються із співвідношень розрахованих вище.

5. Коефіцієнт передачі редуктора:

$$K_p = q \frac{M_n}{2M_H}$$

де M_n - пусковий момент навантаження, якщо його значення не наведено в технічних даних, приймають як $M_n=2,5 \cdot M_{ном}$.

Коефіцієнт передачі редуктора можна також визначити залежно від

					ДП.АКТ.9500098.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

$$K_p = \frac{2n_{HMax}}{n_{gxx}}, \text{ де } n_{gxx} = \frac{n_{НОМ}}{1 - \frac{r_{я.ц.} I_{я.НОМ.}}{U_{НОМ}}}$$

передаточне число редуктора $i_p=1/K_p$.

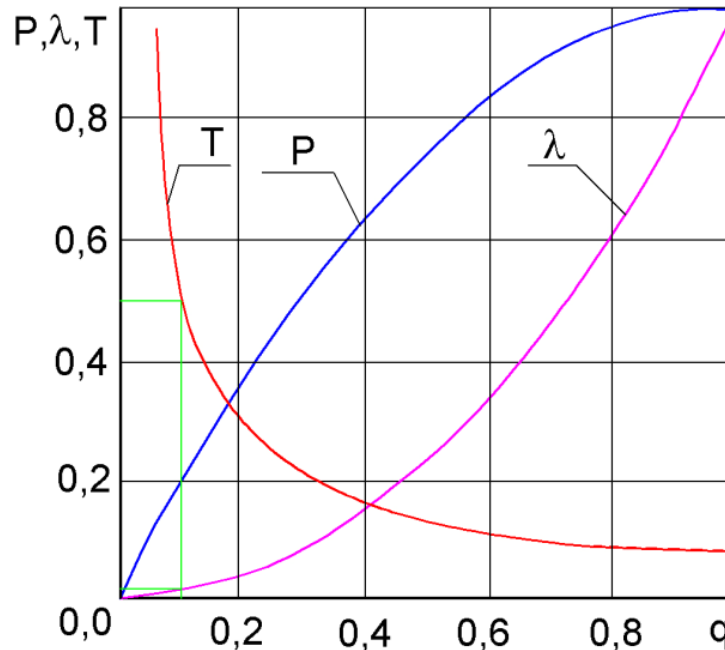


Рисунок 3.5 - Значення поправочних коефіцієнтів з прикладом знаходження даних коефіцієнтів: $P=0,2$; $q \approx 0,11$; $T \approx 5$; $\lambda \approx 0,02$.

6. Максимальне значення коефіцієнта передачі підсилювача визначається як

$$K_{y.max} \geq U_{тр.max} / U_{\delta} .$$

В даному випадку $U_{тр.max}$ – максимальне значення моменту старту

$$U_{тр.max} = U_{y.max} / 2. \text{ Обычно } U_{y.НОМ} = U_{НОМ}.$$

U_{δ} – мінімальний сигнал, що дорівнює нечутливості зоні системи, що отримується з сенсора зворотного зв'язку. Зазвичай $U_{\delta} = (5 \div 10)\%$ від $U_{\alpha.max}$. З урахуванням поправочного коефіцієнта $K_y = q K_{y.max}$.

7. Коефіцієнт передачі сенсора має вигляд:

$$K_{\alpha} = \frac{U_{\alpha \max}}{\alpha_{\max}} .$$

8. Коефіцієнт передачі приводу до сенсора зворотного зв'язку має вигляд:

$$K_{oc} = \frac{\alpha_{2 \max}}{\alpha_{oc \max}} .$$

9. Коефіцієнт передачі системи (добротність системи) має наступний вигляд:

$$K = K_{oc} K_{\alpha} K_{\gamma} K_{\delta} K_p .$$

Метою динамічного розрахунку є визначення стійкості та основних показників якості системи. Оскільки зазвичай не скоригована система не відповідає заданим вимогам, визначення стійкості та оцінку якості доцільно проводити за логарифмічними частотними характеристиками, які згодом використовуються для синтезу коригувальних пристроїв.

3.4 Дослідження стійкості системи та якості регулювання на етапах побудови кривої перехідних процесів

Для дослідження стійкості за логарифмічними характеристиками використовується критерій Найквіста, який формулюється наступним чином: якщо розімкнена система стійка або приймає нейтральна значення, то для параметра стійкості замкнутої системи потрібно і достатньо, щоб логарифмічна амплітудно-частотна характеристика розімкнутої системи приймала негативне значення раніше, ніж фазова характеристика досягає значення $\varphi(\omega) = -\pi(-180^\circ)$, тобто щоб $\omega_{cp} < \omega_{\pi}$ (рисунок 3.6). Таким чином, для дослідження стійкості замкнутої системи автоматичного управління по критерію Найквіста необхідно [18]:

- визначити стійкість розімкнутої системи (з допомогою будь-якого з відомих способів, наприклад, за критерієм Гурвіца);
- побудувати логарифмічні амплітудно-фазові характеристики розімкнутої системи;

					ДП.АКТ.9500098.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- за побудованими графіками зробити висновок про стійкість замкнутої системи.

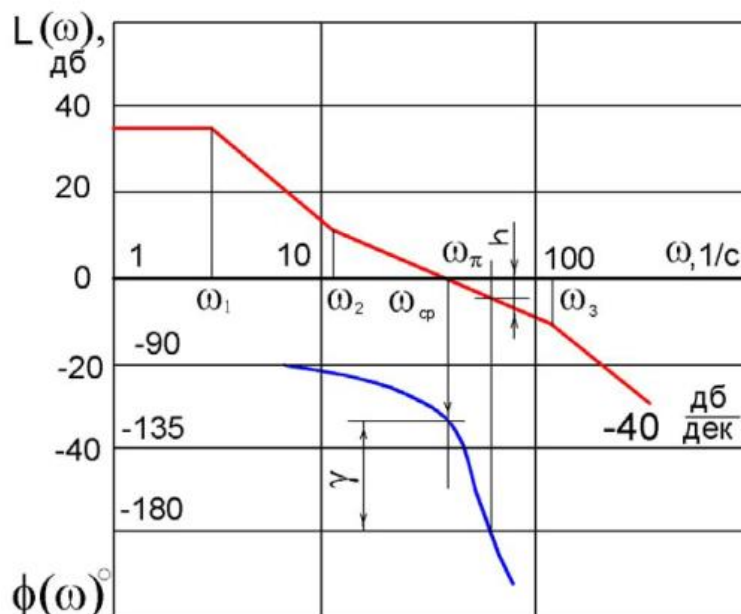


Рисунок 3.6 – Дослідження стійкості замкнутої системи по критерію Найквіста

Запас стійкості системи з амплітуди h (рисунок 3.6) визначається величиною амплітуди $L(\omega)$ у децибелах при частоті ω_π , якій відповідає перехід фазової характеристики через значення $\phi = -\pi$. Запас стійкості по фазі визначається за відхиленням фазового кута від значення $\phi = -\pi$ при частоті зрізу ω_{cp} : $\gamma = \phi - (-\pi)$ [19].

Якщо в дослідженні системи використовуються логарифмічні частотні характеристики $L(\omega)$ і $\phi(\omega)$, то наближену оцінку якості можна здійснити безпосередньо з цим характеристикам.

Вперше, якість регулювання можна оцінювати за величиною запасу стійкості. Забезпечення необхідного запасу стійкості за амплітудою h і фазою γ – перша необхідна умова задовільного якісного регулювання.

Вдруге, швидкодію системи можна оцінювати за величиною частоти зрізу ω_{cp} розімкнутої системи. Чим вона більша, тим вища швидкодія замкнутої системи.

Втретє, за величиною нахилу характеристики $L(\omega)$ близько частоти $\omega_{\text{ср}}$, можна судити про властивості коливальної системи. Для забезпечення необхідної якості перехідного процесу нахил логарифмічної амплітудно-частотної характеристики поблизу частоти зрізу $\omega_{\text{ср}}$ повинен дорівнювати -20 дБ/дек. При цьому, чим ширша ділянка з таким нахилом поблизу $\omega_{\text{ср}}$, тим швидше згасає перехідний процес, тим менше перехитувань.

Встановлено, що для забезпечення необхідного рівня перерегулювання, що не перевищує $20 \div 30\%$, необхідно, щоб за знайденої частоти зрізу $\omega_{\text{ср}}$ виконувались такі умови:

$$\frac{\omega_K}{\omega_H} \approx 10 \quad \text{і} \quad 2 < \frac{\omega_K}{\omega_{\text{ср}}} < 4$$

де ω_H і ω_K - частоти початку і кінця ділянки з нахилом -20 дБ/дек, що містить частоту $\omega_{\text{пор}}$. У випадку представленому на рисунку 3.6, $\omega_H = \omega_2$ і $\omega_K = \omega_3$. Якщо ці умови не виконуються, то на частотій логарифмічній характеристиці проводиться бажана амплітудна характеристика на основі якої здійснюється синтез коригувальних пристроїв. Побудова амплітудної та фазової логарифмічних частотних характеристик представлено далі. Отже, висока частота зрізу $\omega_{\text{ср}}$ розімкнутої системи та нахил амплітудно-частотної характеристики поблизу частоти $\omega_{\text{ср}}$, рівний 20 дБ/дек, при достатній ширині цієї ділянки, а також необхідні значення стійкості h та γ є ознаками досить гарної якості перехідного процесу.

Крива перехідного процесу $H(t)$ при відомій суттєвій частотній характеристиці $P(\omega)$ замкнутої системи з передавальною функцією обчислюється за формулою:

$$H(t) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{P(\omega)}{\omega} \sin \omega t \, d\omega.$$

Перехідний процес можна побудувати, використовуючи сучасний програмно-обчислювальний комплекс та відповідне програмне забезпечення (Math-Cad, MatLab). Розглянутий метод, що дозволяє вирішити це завдання за мінімум обчислень.

					ДП.АКТ.9500098.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Суть методу полягає у поданні суттєвої частотної характеристики $P(\omega)$ у вигляді алгебраїчної суми декількох прямокутних трапецій (рисунки 3.7), для яких інтеграл обчислюється порівняно просто. Для кожної трапеції знаходиться крива перехідного процесу при допомозі таблиць h -функцій. Сума кривих $H_i(t)$, отриманих з окремих трапецій дає криву перехідного процесу системи $H(t)$ [20, 21].

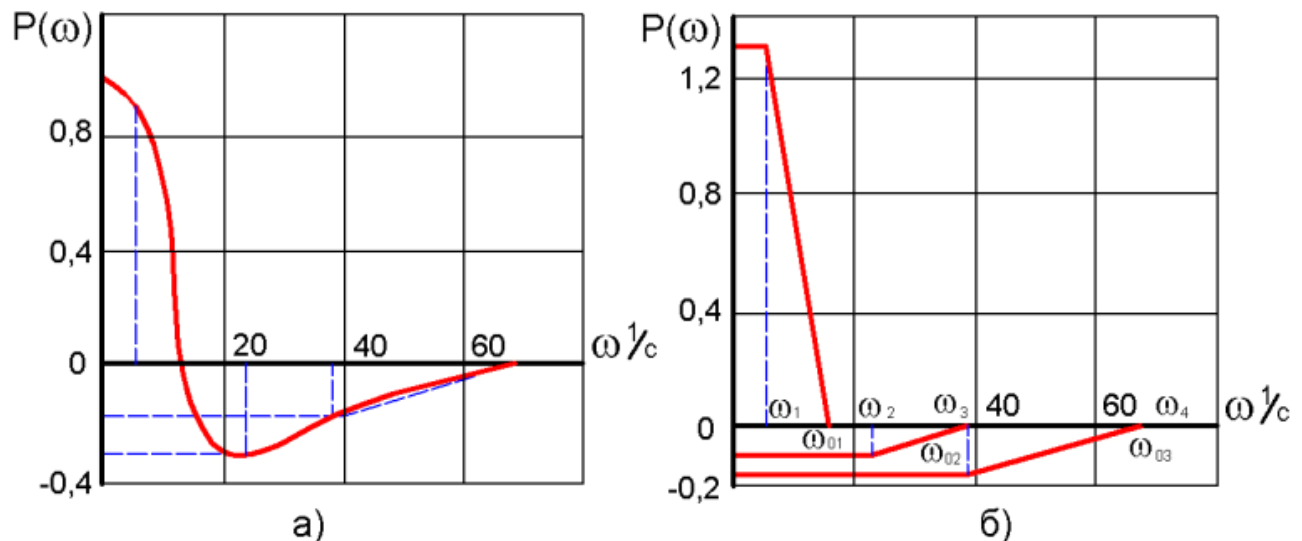


Рисунок 3.7 – Результат дослідження частотної характеристики на трапеції

При розбивці суттєвої частотної характеристики на трапеції необхідно виконати такі умови:

- усі трапеції мають бути прямокутними і примикати своїми прямими кутами до осі ординат;
- алгебраїчна сума висот $P_i(\omega)$ всіх трапецій повинна дорівнювати величині апроксимованої частотної характеристики $P(\omega)$ при $\omega=0$:

$$\sum_{i=1}^n P_i(0) = P(0).$$

- бічна сторона кожної трапеції повинна якомога точніше збігатися з відповідною ділянкою, що апроксимується, функції $P(\omega)$.

Обчислення перехідної функції $H_i(t)$ для i -тої трапеції проводиться в наступному порядку:

- визначаються параметри: $P_i(0)$, ω_i , ω_{0i} та обчислюється коефіцієнт

нахилу:

$$\chi_i = \frac{\omega_i}{\omega_{0i}} .$$

- за таблицями h-функцій, задаючи значення відносного часу τ і обчисленого коефіцієнта χ_i знаходять значення перехідної функції $h(\tau)$.

- перехід до шуканої функції $H_i(t)$ здійснюється шляхом перемноження кожної ординати $h(\tau)$ на висоту трапеції $P_i(0)$, а перехід від відносного часу τ до абсолютного t – шляхом розподілу τ на ω_{0i} :

$$H_i(t) = P_i(0)h(\tau) ; \quad t_i = \frac{\tau}{\omega_{0i}} .$$

					ДП.АКТ.9500098.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

На всіх стадіях трудового процесу, незалежно від виду професійної діяльності, необхідно вирішувати питання охорони праці людини. Забезпечення безпечних і здорових умов праці значною мірою залежить від правильної оцінки небезпечних і шкідливих виробничих факторів. Однак, різні причини можуть спричинити однаково складні зміни в організмі людини. Цими причинами можуть бути фактори виробничого середовища, надмірне фізичне і розумове навантаження, нервово-емоційна напруга, а також різне сполучення цих причин. В даному розділі розглядається питання охорони праці інженера на стадії розробки ним комплексу АСУ, який призначений для управління системами освітлення різних категорій за допомогою технічних засобів автоматизації.

4.1 Сучасний стан охорони праці в Україні

Рівень з охороною праці у світі стає все більш актуальною проблемою як для профспілок, так і для міждержавних структур, насамперед Міжнародної організації праці. МОП розглядає цю тему як частину своєї Програми гідної праці. Підвищена увага до проблем безпеки праці пояснюється в першу чергу тим, що з кожним роком, незважаючи на заходи, що вживаються, у різних країнах зростає рівень виробничого травматизму, у тому числі зі смертельними наслідками, і кількість профзахворювань. Причому це стосується і тих країн, де їм приділяється, здавалося б, підвищена увага. До сфери безпеки праці все більшою мірою залучаються питання, пов'язані з самопочуттям працівника, і фактори, що побічно впливають на трудову діяльність.

Критична ситуація в Україні у сфері безпеки праці вона характеризується наступними чинниками [21]:

					ДП.АКТ.9500098.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

- безповоротними втратами економіки країни, яких вона зазнає через значну загальну захворюваність працівників з тимчасовою втратою працездатності, високі рівні виробничого травматизму, професійної захворюваності та інвалідизації, внаслідок чого держава втрачає кваліфікованого працівника, а натомість отримує особу, якій потрібно надавати соціальні послуги;

- незадовільним фінансуванням роботодавцями на підприємствах усіх форм власності заходів з охорони праці;

- розбалансованістю системи управління охороною праці в центральних органах виконавчої влади, обласних і міських держадміністраціях та органах місцевого самоврядування;

- багаторічною практикою приховування значної кількості нещасних випадків на виробництві від розслідування і обліку, або не завжди об'єктивну кваліфікацію їх як неповязаних з виробництвом;

- відсутністю об'єктивної інформації про реальний стан охорони праці, кількість нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань;

- зруйнованою системою трудової (промислової) медицини, що вкрай негативно впливає на виявлення профпатології і професійних захворювань на ранніх стадіях, відсутністю ефективної системи медичної і професійної реабілітації працівників (згортання регулярних профілактичних медичних оглядів, загальної диспансеризації працюючих, закриття більшості санаторіїв-профілакторіїв), що призводить до погіршення їх здоров'я, зниження продуктивності праці, професійної непридатності, стримує інноваційний та інвестиційний розвиток провідних галузей економіки [21, 22].

Правові, економічні і соціальні пріоритети державної політики у сфері охорони праці

Національна Стратегія охорони праці спрямовується на забезпечення:

					ДП.АКІТ.9500098.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- конституційного права працівників на безпечні і здорові умови праці, створення ефективної системи запобігання нещасним випадкам на виробництві і виникненню професійних захворювань;

- зменшення втрат економіки України в результаті виробничого травматизму і професійних захворювань, інвалідизації, в наслідок яких виробництво втрачає професійно підготовлені кадри, створення умов для забезпечення інноваційного розвитку економіки здоровими, продуктивними і професійними робітничими кадрами.

- створення належних гарантій соціального захисту потерпілих на виробництві та сімей загиблих на виробництві.

Відновлення комплексного управління охороною праці

Побудова належної системи охорони праці потребує відновлення вертикалі державних органів управління охороною праці. Для цього необхідно:

- поновити структурні підрозділи (управління, відділи, сектори тощо) у штатах галузевих міністерств, місцевих державних адміністрацій та органах місцевого самоврядування для координації роботи, методичного та інформаційного забезпечення заходів з охорони праці роботодавців, здійснення контролю за їх своєчасністю і повнотою проведення, зокрема за атестацією робочих місць за умовами праці, усуненням або істотним зменшенням негативної дії шкідливих виробничих факторів на робочих місцях;

- регулярно розглядати і оцінювати на засіданнях Рад з безпеки життєдіяльності всіх рівнів стан охорони праці в галузях промисловості, на підприємствах та приймати рішення щодо його поліпшення;

- законодавчо впроваджувати європейські стандарти і вимоги Конвенцій Міжнародної Організації Праці (МОП) у практику управління охороною праці;

- органам державного управління усіх рівнів реалізовувати політику заохочення роботодавців до організації внутрішнього корпоративного

					ДП.АКТ.9500098.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

управління охороною праці на підприємствах, в акціонерних товариствах, холдингах та інших суб'єктах економічної діяльності;

- забезпечити підготовку у вищих навчальних закладах дипломованих спеціалістів з охорони праці, включення відповідних програм до курсу підготовки спеціалістів для галузей народного господарства та післядипломного навчання, затвердження відповідної загальнодержавної програми [20].

Реформа державного нагляду за станом охорони праці та його ефективне поєднання з контролем профспілок і роботодавців

- перегляд функцій центральних органів виконавчої влади у сфері державного нагляду за охороною праці, їх концентрація та приведення у відповідність до вимог Конвенцій МОП з метою істотного підвищення ефективності нагляду;

- впровадження аудиту з охорони праці;

- у розвиток норм Закону України «Про престижність шахтарської праці» здійснити законодавче закріплення за технічною інспекцією праці профспілок частини повноважень державного нагляду за охороною праці на підприємствах, які вона використовувала до 1994 року з фінансуванням утримання відповідних штатів за рахунок Фонду соціального страхування від нещасних випадків.

Впровадження загальнодержавної системи запобігання виробничому травматизму і професійним захворюванням

Своєчасне виявлення та усунення причин виникнення виробничих травм і професійних захворювань, а також вжиття відповідних профілактичних заходів дозволяє значно знизити рівень виробничого травматизму та захворюваності, економічні втрати підприємств, зберегти здоров'я, високу професійну працездатність працівників [23].

Для організації системної роботи у цій сфері необхідно забезпечити:

- розробку сучасної технології соціально-гігієнічного моніторингу умов праці і здоров'я працюючих, яка б передбачала зокрема проведення

					ДП.АКІТ.9500098.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

комплексної атестації робочих місць не тільки за умовами праці, але і на їх відповідність нормативно-правовим актам з охорони праці, оцінку та прогнозування професійних ризиків, створення та підтримування в актуальному стані відповідної єдиної інформаційної бази;

- розробку і запровадження на загальнодержавному, галузевому, регіональному рівнях, а також на рівні підприємств, установ, організацій системи запобігання (профілактики) виробничому травматизму і професійним захворюванням, з чіткими законодавчо визначеними завданнями і сферами відповідальності;

- забезпечення працівників засобами колективного та індивідуального захисту згідно з діючими нормами та колективними договорами;

- відновлення трудової (промислової) медицини, системи періодичних медичних оглядів, загальної диспансеризації працюючого населення, ранньої діагностики професійної патології та професійних захворювань на виробництві;

- фінансування роботодавцями заходів з охорони праці відповідно до вимог статті 19 Закону України «Про охорону праці»;

- проведення роботодавцями в установлені законодавством терміни атестації робочих місць на відповідність вимогам нормативно-правових актів з охорони праці та реалізацію заходів з поліпшення умов праці, усунення або істотного зменшення негативної дії шкідливих факторів виробництва на робочих місцях, приведення у відповідність з вимогами охорони праці режимів роботи, технічних засобів, в тому числі засобів індивідуального захисту, обладнання;

- підвищення економічної відповідальності власників підприємств за створення безпечних і здорових умов праці;

- впровадження економічних стимулів роботодавцю за створення належних умов праці;

- внесення змін до законодавства направлених на недопущення підміни офіційних трудових відносин цивільно-правовими угодами при виконанні

					ДП.АКІТ.9500098.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

робіт підвищеної небезпеки, а також застосування інших нетипових видів найманої праці з метою виведення працівника з під дії Закону України «Про охорону праці», Кодексу Законів про працю України та інших нормативно-правових актів з охорони праці;

- удосконалення нормативно-правової бази з охорони праці, гармонізація її з Європейським законодавством.

Побудова сучасної системи реагування на випадки виробничого травматизму і професійного захворювання на основі:

- забезпечення об'єктивного і повного розслідування нещасних випадків на виробництві;

- удосконалення порядку розслідування нещасних випадків на виробництві, гострих професійних отруень і професійних захворювань, запровадження системи правових і організаційно-технічних заходів, направлених на забезпечення чесного і об'єктивного їх розслідування;

- запобігання масовим випадкам приховування нещасних випадків від розслідування і обліку;

- розвитку системи невідкладної медичної допомоги постраждалим на виробництві, їх лікування, медична та професійна реабілітація, повернення до професійної діяльності;

- підвищення адміністративної і кримінальної відповідальності за порушення законних прав потерпілих, порядку обліку і розслідування випадків травматизму;

- забезпечення невідкладної медичної допомоги на виробництві; формування системи медичної та професійної реабілітації потерпілих на виробництві.

Створення єдиної державної інформаційної бази з охорони праці яка б включала:

- дані про виробничий травматизм, професійну захворюваність, атестацію робочих місць за умовами праці і на відповідність нормативно-правовим актам з охорони праці, про відповідні рівні ризику у галузях

					ДП.АКТ.9500098.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

економічної діяльності, витрати на охорону праці, соціально-економічні втрати від виробничого травматизму та професійних захворювань, дані про підприємства (вітчизняні і зарубіжні) що виготовляють засоби індивідуального і колективного захисту, про наукові розробки у сфері охорони праці, та наукові заклади, які здійснюють такі розробки та інше [24].

Правове і науково-методичне забезпечення охорони праці

- встановити єдиний порядок атестації робочого місця і вдосконалити нормативну базу з її проведення;

- ратифікувати Конвенції МОП з питань охорони та гігієни праці;

- організувати розробки перспективних науково-дослідних робіт з охорони праці, зокрема з економічних аспектів виробничого травматизму та професійних захворювань, їх економічних наслідків для роботодавців і держави в цілому, розробку методик визначення вартості життя людини з метою розрахунку економічних втрат в результаті загибелі працівника на виробництві і ряд інших;

- створити обласні інформаційно-методичні центри з охорони праці при обласних державних адміністраціях для надання консультативно-правової допомоги з питань охорони праці профспілковому активу, роботодавцям і працівникам підприємств;

- проводити регулярні перспективні наукові дослідження з охорони праці з метою вивчення:

а) впливу виробничого травматизму, захворювань, у тому числі професійних, і смертності працівників на економіку України; обсягів додаткових соціальних витрат держави;

б) оцінку необхідних витрат держави і роботодавців для забезпечення необхідного рівня професійної підготовки і стану здоров'я працюючих;

- забезпечити розробку і реалізацію спільних програм з наукового та науково - практичного співробітництва МОЗ з Фондом соціального страхування, об'єднаннями роботодавців щодо створення здорових та

					ДП.АКІТ.9500098.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

безпечних умов праці, поліпшення медичного обслуговування працюючих громадян України.

Удосконалення соціального захисту постраждалих та сімей загиблих на виробництві

Удосконалення соціального захисту постраждалих та сімей загиблих на виробництві – як одна із складових Національної стратегії з охорони праці передбачатиме:

- врахування при розробці рівня страхових тарифів для підприємств стану умов праці, наслідків травмування працівника та виникнення професійного захворювання;

- введення додаткових матеріальних виплат постраждалим на тривале стаціонарне лікування, придбання дорогоцінних ліків, медичну і професійну реабілітацію постраждалих та хворих з професійними захворюваннями;

- створення нових центрів з медичної і професійної реабілітації постраждалих на виробництві, в тому числі в структурі Фонду соціального страхування від нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань України;

- створення державної системи удосконалення і перепідготовки кадрів для її використання при медичній і професійній реабілітації постраждалих на виробництві;

- поступове збільшення розміру відшкодувань та компенсацій, а також пенсійного забезпечення потерпілим на виробництві [22-23].

4.2 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів

Приміщення, в якому працює програміст, має загальну площу 20м², висоту стелі 3м. У приміщенні знаходиться 7 робочих місць з ПК. Кожне робоче місце обладнане робочим столом площею 1,2м², стільцем та персональним комп'ютером, що складається з монітора, системного блоку, клавіатури та миші. Слід відзначити, що площа одного робочого місця

					ДП.АКТ.9500098.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

оператора ПК не повинна бути меншою за 6м^2 , а об'єм не менший за 20м^3 [22], тобто площі та об'єму даного приміщення не вистачає для розташування 7 робочих місць операторів ПК.

Аналіз умов праці показує, що у приміщенні лабораторії на програміста можуть негативно впливати наступні фізичні та психофізіологічні фактори:

- підвищена або знижена температура повітря робочої зони;
- підвищена або знижена вологість повітря;
- недостатня освітленість робочого місця;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- підвищена іонізація повітря;
- підвищений рівень електромагнітних випромінювань;
- нервово-психічні перевантаження (розумова перенапруга, перенапруга аналізаторів);
- фізичні перевантаження (одноманітна поза викликає статичну втому).

Робота програміста за енерговитратами відноситься до категорії легких робіт Іа, Іб, тому повинні дотримуватися наступні вимоги згідно ДСН 3.3.6.042-99:

- оптимальна температура повітря 22°C (допустима — $20\text{-}24\text{ C}$), оптимальна відносна вологість - $40\text{-}60\%$ (допустима - не більш 75%), швидкість руху повітря не більш $0,1\text{ м/с}$.

Виміряні за допомогою приладів (психрометр Августа) температура та вологість у лабораторії відповідають вказаним у таблиці для теплого періоду року.

Розташовані у приміщенні 7 ПК являються джерелами тепловиділень, крім того для підтримання у приміщенні в холодний період року оптимальних параметрів мікроклімату використовуються нагріті поверхні опалювальної системи. Нормованим показником ІЧВ являється гранично допустима густина потоку енергії Іг.д, Вт/м^2 , яка встановлюється в залежності від площі опромінюваної поверхні тіла людини ($S_{\text{опр}}$). Нормовані

					ДП.АКІТ.9500098.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

рівні складають: $I_{г.д} = 35 \text{ Вт/м}^2$ при $S_{опр} > 50\%$; $I_{г.д} = 70 \text{ Вт/м}^2$ при $S_{опр} \sim 25-50\%$; $I_{г.д} = 100 \text{ Вт/м}^2$ при $S_{опр} < 25\%$.

Нормованим параметром природного освітлення згідно ДБН В.2.5-28—2006 являється коефіцієнт природного освітлення (КПО). КПО встановлюється в залежності від розряду виконуваних зорових робіт. Робота програміста відноситься до робіт середньої точності (IV розряд зорових робіт, мінімальний розмір об'єкту розрізнення складає 0,5- 1,0мм), для яких при використанні бокового освітлення $КПО=1,5\%$. Для штучного освітлення нормованим параметром виступає $E_{мін}$ — мінімальний рівень освітленості, та $Кп$ - коефіцієнт пульсації світлового потоку, який не повинний бути більшим ніж 20%. Мінімальна освітленість встановлюється в залежності від розряду виконуваних зорових робіт. Для IV розряду зорових робіт вона складає 300-500 лк.

Перевірка освітленості робочого місця програміста в лабораторії на кафедрі ЕОМ на відповідність розряду зорової роботи

За даними вимірювань (люксметр Ю-116) рівень природної освітленості поверхні, де розташований ПК програміста, складає 200 лк при освітленості тієї же поверхні відкритим небосхилом в 20000 лк, тобто $КПО = 1\%$, що не відповідає нормативному КПО.

Для штучного освітлення у приміщенні використовуються люмінесцентні лампи, які в порівнянні з лампами розжарювання мають ряд істотних переваг: за спектральним складом світла вони близькі до природного світла; мають підвищену світлову віддачу (у 2-5 разів вищу, ніж у ламп розжарювання); мають триваліший термін служби (до 10 тис. годин).

Розрахунок штучного освітлення проведемо для кімнати площею 20 м^2 , ширина якої складає 5м, довжина — 4м, висота — 3м за методом коефіцієнта використання світлового потоку [24].

Для визначення потрібної кількості світильників, які повинні забезпечити нормований рівень освітленості, визначимо світловий потік, що падає на робочу поверхню за формулою:

					ДП.АКІТ.9500098.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$F = \frac{ESKZ}{n}$$

де F - світловий потік, що розраховується, Лм;

E - нормована мінімальна освітленість, Лк; E = 300 Лк;

S - площа освітлюваного приміщення (у нашому випадку S=20м²);

Z - відношення середньої освітленості до мінімальної (зазвичай приймається рівним 1,1... 1,2, в нашому випадку Z = 1,1);

K - коефіцієнт запасу, що враховує зменшення світлового потоку лампи в результаті забруднення світильників в процесі експлуатації (його значення залежить від типу приміщення і характеру робіт, що проводяться в ньому, в нашому випадку K = 1,5);

n - коефіцієнт використання світлового потоку, (виражається відношенням світлового потоку, що падає на розрахункову поверхню, до сумарного потоку всіх ламп, і обчислюється в долях одиниці; залежить від характеристик світильника, розмірів приміщення, забарвлення стін і стелі, що характеризуються коефіцієнтами відбиття від стін (рст.) і стелі (регелі), значення коефіцієнтів дорівнюють рст = 40% і рстелі=60%.

Обчислимо індекс приміщення за формулою:

$$i = \frac{S}{h(A + B)}$$

де S - площа приміщення, S = 20м²;

h-розрахункова висота підвісу, h = 2,9м;

A - ширина приміщення, A 4м;

B - довжина приміщення, B = 5м.

Підставивши значення отримаємо: i=0,77. Знаючи індекс приміщення, знаходимо n = 0,22. Підставимо всі значення у формулу для визначення світлового потоку F:

$$F = \frac{300 \cdot 1,5 \cdot 20 \cdot 1,1}{0,22} = 45000 \text{ Лм}$$

					ДП.АКТ.9500098.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

Для освітлення використані люмінесцентні лампи типу ЛБ 40-1, світловий потік яких $F = 4320$ Лм.

$$N = \frac{F}{F_l}$$

де N - визначуване число ламп;

F - світловий потік, $F = 45000$ Лм;

F_l - світловий потік однієї лампи, $F_l = 4320$ Лм.

$$N = 45000 / 4320 = 11$$

В приміщенні використовуються світильники типу ЛПО. Кожен світильник комплектується двома лампами. Тобто необхідно використовувати 6 світильників із 12 працюючими лампами в них.

У лабораторії, де аналізувалось робоче місце програміста працює 7 ламп, тому рівень штучного освітлення не задовольняє санітарним нормам.

Як було вказано вище, в лабораторії знаходиться сім робочих місць з ПК, кожне з яких устатковане монітором, вінчестером в системному блоці, трьома вентиляторами системи охолодження ПК та клавіатурою. Крім того поряд працює периферійна техніка. Таким чином у приміщенні мають місце шуми механічного і аеродинамічного походження, широкосмугові із аперіодичним підсиленням при роботі принтерів. Орієнтовні еквівалентні рівні звукового тиску джерел шуму, що діють на програміста на його робочому місці, представлені в таблиці 4.1. Допустимий еквівалентний рівень шуму для робочого місця програміста складає 50 дБА. Розрахуємо середній рівень шуму на робочому місці оператора при роботі всієї вказаної техніки.

Таблиця 4.1 - Рівні звукового тиску від різних джерел

Джерело шуму	Рівень шуму, дБА
Жорсткий диск	45
Вентилятор	45
Принтер матричний	55
Сканер	50

Рівень шуму, що виникає від декількох некогерентних джерел, що працюють одночасно, підраховується на підставі принципу енергетичного підсумовування рівня інтенсивності окремих джерел:

$$L = 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_i}$$

де L_i - рівень звукового тиску i -го джерела шуму;

n — кількість джерел шуму.

Підставивши значення рівня звукового тиску для кожного виду устаткування у формулу, отримаємо:

$$L = 10 \lg(10^{4,5} + 10^{4,5} + 10^{5,5} + 10^{5,0}) = 44,2 \text{ дБ.}$$

За наявності декількох джерел шуму з однаковим рівнем інтенсивності L_i загальний рівень шуму визначають за формулою: $L = L_i + 10 \lg n$. У нашому випадку таких джерел сім, отже загальний рівень шуму буде визначатися так:

$$L = 44,2 + 10 \lg 7 = 52,7 \text{ дБ.}$$

Розраховане значення середнього рівня шуму перевищує гранично допустимий рівень шуму для робочого місця програміста, тобто слід передбачити заходи по зниженню рівня шуму.

Допустимі значення параметрів неіонізуючих електромагнітних випромінювань від монітору комп'ютера представлені в таблиці 4.2. Нормованим параметром невикористаного рентгенівського випромінювання виступає потужність експозиційної дози. На відстані 5 см від поверхні екрану монітору її рівень не повинен перевищувати 100 мкР/год. Максимальний рівень рентгенівського випромінювання на робочому місці програміста зазвичай не перевищує 20 мкР/год.

На відстані 5-10 см від екрана і корпусу монітора рівні напруженості можуть досягати 140 В/м по електричній складовій, що значно перевищує допустимі значення.

Приміщення лабораторії за небезпекою ураження електричним струмом можна віднести до 1 класу, тобто це приміщення без підвищеної

					ДП.АКІТ.9500098.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

небезпеки (сухе, без пилу, з нормальною температурою повітря, ізольованими підлогами і малим числом заземлених приладів).

Таблиця 4.2 - Допустимі значення параметрів неіонізуючих електромагнітних випромінювань

Найменування параметра	Допустимі значення
Напруженість електричної складової електромагнітного поля на відстані 50 см від поверхні відеомонітора	10 В/м
Напруженість магнітної складової електромагнітного поля на відстані 50 см від поверхні відеомонітора	0,3 А/м
Напруженість електростатичного поля не повинна перевищувати: для дорослих користувачів для дітей дошкільних установ і що вчать середніх спеціальних і вищих учбових закладів	20 кВ

На робочому місці програміста з всього устаткування металевим є лише корпус системного блоку комп'ютера, але тут використовуються системні блоки, що відповідають стандартам фірми IBM, у яких крім робочої ізоляції передбачений елемент для заземлення і провід з жилою, що заземлює, для приєднання до джерела живлення.

Основні причини ураження людини електричним струмом на робочому місці:

- дотик до металевих неструмоведучих частин (корпусу, периферії комп'ютера), що можуть* виявитися під напругою в результаті ушкодження ізоляції;
- нерегламентоване використання електричних приладів;
- відсутність інструктажу співробітників з правил електробезпеки.
- На протязі роботи на корпусі комп'ютера накопичується статична електрика. На відстані 5-10 см від екрана напруженість електростатичного поля складає 60-280 кВ/м, тобто в 10 разів перевищує норму 20 кВ/м.

					ДП.АКІТ.9500098.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

Оцінка напруженості праці здійснювалась на підставі обліку всіх наявних значущих показників, які можуть перевищувати нормативні рівні [25].

Розподіл функцій за ступенем складності завдання — належить до класу 2 (обробка, виконання завдання та його перевірка). Характер виконуваної роботи - належить до класу 2 (робота за встановленим графіком з можливим його коректуванням у ході діяльності). Навантаження на зоровий аналізатор (при відстані від очей працюючого до об'єкта розрізнення не більше 0,5 м), при тривалості зосередженого спостереження (% часу зміни) - належить до класу 2 (5,0-1,1мм більше 50 % часу; 1,0-0,3мм до 50 % часу; менше 0,3 мм до 25 %). Спостереження за екранами відеотерміналів (годин на зміну) - належить до класу 3.2 (більше 4 годин). Монотонність праці. Кількість елементів (приймів, необхідних для реалізації простого завдання або в операціях, які повторюються багаторазово) — належить до класу 3.1 (5-3 прийоми). Режим праці (фактична тривалість робочого дня (год.) - належить до класу 1 (6-7 годин). Наявність регламентованих перерв та їх тривалість — належить до класу 2 (перерви регламентовані, недостатньої тривалості: від 3 % до 7 % часу зміни). Отже робоче місце за показниками напруженості трудового процесу відноситься до класу 3.1 - Шкідливий (напружена праця).

Важкість праці. Оцінка важкості праці здійснюється на підставі обліку всіх наявних значущих показників. При цьому спочатку встановлюється клас кожного із вимірюваних показників, а кінцева оцінка важкості праці встановлюється за показником, який має найвищий ступінь важкості.

Стереотипні робочі рухи (кількість за зміну): при локальному навантаженні (за участю м'язів кистей та пальців рук) - належить до класу 1 (до 20000). При загальному навантаженні (при роботі з переважною участю м'язів рук та плечового поясу) — належить до класу 1 (до 10000). Робоча поза Щ належить до класу 2 (періодичне перебування в незручній позі (робота з поворотом) тулуба, незручним розташуванням кінцівок та/або фіксованій

					ДП.АКТ.9500098.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

позі (неможливість зміни взаєморозташування різних частин тіла відносно одна одної) до 25 % часу зміни.) Нахили корпуса (вимушені, більше 30), кількість за зміну - належить до класу 1 (до 50). Переміщення у просторі (переходи, обумовлені технологічним процесом протягом зміни), км: по горизонталі - належить до класу 1 (до 4). По вертикалі - належить до класу 1 (до 2). Отже робоче місце за показниками важкості трудового процесу відноситься до класу 2 - Допустимий, середнє фізичне навантаження.

4.3 Розробка заходів з охорони праці

Після проведення аналізу робочого місця програміста в лабораторії було з'ясовано, що воно не відповідає встановленим вимогам. Також у результаті аналізу були виявлені порушення в організації безпосередньо самого робочого місця програміста. У зв'язку з цим пропонується організувати робоче місце програміста наступним способом:

- висота над рівнем підлоги робочої поверхні, на якій працює програміст, повинна складати 720 мм. Бажано, щоб робочий стіл при необхідності можна було регулювати по висоті в межах 680-780 мм;

- оптимальний розмір поверхні столу 1600 x 1000 мм . Під столом повинен бути простір для ніг з розмірами по глибині 650 мм. Робочий стіл оператора повинен також мати підставку для ніг, розташовану під кутом 15⁰ до поверхні столу. Довжина підставки - 400 мм, ширина -350 мм. Відстань клавіатури від краю столу повинна бути не більш 300 мм, що забезпечить програмісту зручну опору для передпліч. Відстань між очима й екраном монітору повинне складати 40-80см;

- робочий стілець програміста повинен бути оснащений підйомно-поворотним механізмом. Висота сидіння повинна регулюватися в межах 400-500 мм. Глибина сидіння повинна складати не менш 380 мм, а ширина - не менш 400 мм. Висота опорної поверхні спинки не менш 300 мм, ширина - не менш 380 мм. Кут нахилу спинки стільця до площини сидіння повинен

					ДП.АКІТ.9500098.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		80

змінюватися в межах 90 -110[^]. Виходячи з результатів аналізу важкості та напруженості праці пропоную скоротити час роботи за комп'ютером, робити перерви сумарний час яких повинен складати 50 хвилин при 8-ми годинній зміні.

Для створення й автоматичної підтримки в лабораторії незалежно від зовнішніх умов оптимальних значень температури, вологості, чистоти і швидкості руху повітря, у холодний час року використовується водяне опалення, у теплий час року застосовується кондиціонування повітря.

Під час аналізу освітлення на робочому місті програміста було встановлено, що воно не відповідає встановленим нормам, тому для покращення умов праці рекомендуємо збільшити рівень загальної освітленості приміщення шляхом встановлення 5 додаткових ламп.

Також для підтримки запроєктованого освітлення у чистому виді необхідно скласти графік, де передбачити очищення віконних блоків і світильників не менше 2 разів на рік.

Як міри по зниженню шуму можна запропонувати:

- облицювання стелі і стін звукопоглинаючим матеріалом (знижують шум на 6-8 дб);
- екранування робочого місця (постановкою перегородок, діафрагм);
- установка в комп'ютерних приміщеннях устаткування, що робить мінімальний шум;
- раціональне планування приміщення.

Для зменшення шуму в аналізованій лабораторії пропоную використовувати замість матричного принтера, що створює багато шуму, більш тихий - лазерний принтер.

Для попередження впровадження небезпечної техніки всі дисплеї повинні бути сертифіковані.

Електробезпеку у приміщенні лабораторії пропоную забезпечити наступними технічними способами і засобами захисту:

					ДП.АКТ.9500098.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						81
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- для зменшення накопичення статичної електрики застосовувати зволожувачі і нейтралізатори, антистатичне покриття підлоги;
- забезпечити приєднання металевих корпусів устаткування до жили, що заземлює. Заземлення корпусу ПК забезпечити підведенням жили, що заземлює, до розеток. Опір заземлення 4 Ом, згідно (ПУЗ) для електроустановок з напругою до 1000 В.

Також організаційними заходами:

- своєчасне проведення інструктажів з техніки безпеки;
- заборонених використання непередбачених у лабораторії електричних приладів, таких як електричні чайники, обігрівачі.

					ДІАКІТ.9500098.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

ВИСНОВКИ

У представленій кваліфікаційній роботі розроблена автоматизована система управління водонапірною вежею. Основний етап автоматизації зосереджений на процесі функціонування системи водопостачання за допомогою, встановленого електронного обладнання - глибоких насосів на артезіанських свердловинах та насосної станції для нагнітання тиску в системі водорозподілу та ряду контрольно-вимірювальної апаратури (сенсори та виконавчі механізми). Встановлене обладнання дозволяє контролювати об'єм води який зберігається у водонапірних вежах, а також розхід і тиск у споживчій мережі водоканалу. Це дозволяє оптимально контролювати розхід водних ресурсів та підтримувати аварійний запас води на випадок непередбачуваних ситуацій та аварійних станів.

Проведений аналіз технологічного процесу запропонованої САУ, як об'єкта управління і визначення недоліків реальних інформаційних алгоритмів та технічних засобів, що використовуються при спрацюванні певних категорій сенсорів на об'єктах водозабору та водо розподілу. Визначено контрольовані параметри технологічного процесу.

Для ефективного забезпечення якісного протікання технологічного процесу відповідно встановленим нормам, здійснений вибір технічних пристроїв автоматизації, щоб відповідали основним вимогам, до ефективного і якісного функціонування САУ. В процесі вибору обговорено використання технічних пристроїв, конкретно для даного об'єкту керування, з урахуванням контрольованих параметрів витрат електроенергії, та пристроїв контролю (сенсорів та виконавчих механізмів) та ін. Обраний програмований логічний контролер та засоби керування напругою та виконавчими механізмами.

Розроблена функціональна схема комплексу технічних засобів, а саме систему регулювання технологічних параметрів, робота якої полягає в тому, щоб виявляти відхилення регульованих величин, що характеризують роботу об'єкта або перебіг процесу від необхідного режиму роботи. Приділена

					ДП.АКТ.9500098.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83

значна увага дозуючим засувкам (заслонкам) з електроприводом, які дозволяють перекривати магістраль водо розподілу на випадок виникнення проривів або нештатних ситуацій на магістралях водопровідної труби.

Представлений розрахунок параметрів математичної моделі одного із контурів автоматичного регулювання, а саме слідкуючого електропривода, який контролює роботу електромеханічної засувки, що забезпечує ефективну роботу водорозподільної магістралі.

Розраховано передаточні функції елементів автоматизованої системи за допомогою методу структурних перетворень. Здійснений вибір та обґрунтування параметрів перехідного процесу, розрахована передавальна функція замкнутої системи за сигналом керування.

Проведено статичний та динамічний розрахунок математичної моделі САУ, який дозволив провести коретний підбір основних елементів системи (виконавчого двигуна, основного підсилювача потужності) та визначення їх параметрів. Метою динамічного розрахунку є визначення стійкості та основних показників якості системи. Так як зазвичай не скоригована система не відповідає заданим вимогам, визначення стійкості та оцінки якості доцільно проводити за логарифмічними частотними характеристиками, які згодом використовуються для синтезу коригувальних пристроїв

Проведено дослідження стійкості системи та якості регулювання на етапах побудови кривої перехідних процесів за допомогою критерія Найквіста. В результаті з отриманих перехідних характеристик можна зробити висновок, що дана система є працездатною, тобто показники якості регулювання істотно не погіршуються, що призводить до якісного регулювання рівня роботи. Запропонована САУ забезпечує надійну, безперебійну та якісну роботу в процесі контролю технологічних параметрів в контрольованих пунктах, а також дозволяє мінімізувати людський фактор, що значно підвищує надійність роботи системи.

					ДП.АКТ.9500098.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						84
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Лезнов, Б. С. Энергосбережение в насосных установках [Текст] / Б. С. Лезнов, В. Б. Чебанов, Я. Н. Гинзбург, Н. П. Воробьева, Ю. Б. Исхаков, Н. Б. Лезнов // Промышленная энергетика. –К:,- 1999. – № 7. – С. 13–16.
2. Ібайді Ібрахім, М. А. Автоматизована система водопостачання, яка складається з кількох насосних агрегатів / М. А. Ібайді Ібрахім. – Вінниця: ВНТУ, 2017. – 113 с.
3. Мошноріз, М. М. Алгоритм роботи мікропроцесорного пристрою керування групою паралельнопрацюючих насосів станції водопостачання [Текст]: II Всеукр. наук.-техн. конф. / М. М. Мошноріз, М. М. Коцюруба. – Покровськ: ДВНЗ «ДонНТУ», 2016. – С. 70–72.
4. Коренькова, Т. В. Рациональный электропривод насосных станций городского водоснабжения [Текст]: дис. канд. техн. наук / Т. В. Коренькова. – К., 2001. – 155 с.
5. Мошнориз, Н. Н. Усовершенствование системы управления водоснабжением отдельного населённого пункта на основании применения нечёткого регулятора / Н. Н. Мошнориз, О. Н. Довганич. – Харків: ООО "СКАН", 2014. – С. 89–93.
6. Гриценко, К. Г. Способ решения задачи реконструкции электроприводов насосов насосной станции с использованием имитационной модели / К. Г. Гриценко // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – 2000. – Вип. 2 (9). – С. 10–16.
7. Сотник, М. І. Аналіз способів регулювання роботи насосних станцій комунального водопостачання / М. І. Сотник, С. О. Хованський, О. І. Дужак // Вісник СумДУ. Серія: Технічні науки. – 2008. – № 2. – С. 152–157.
8. Коренькова, Т. В. Описание характеристик насосных агрегатов при переменной скорости вращения [Текст] / Т. В. Коренькова // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – 2002. – Вип. 1 (12). – С. 184–189.

					ДП.АКТ.9500098.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						85
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

9. Сердюк, А. Особенности моделей водопроводных насосных комплексов [Текст] / А. Сердюк, Т. Коренькова // Вісник КДПУ. – 2007. – Вип. 4 (44). – С. 143–147.
10. Руководство по разработке и реализации плана обеспечения безопасности воды. Пошаговое управление рисками для поставщиков питьевой воды / Bartram J., Corrales L., Davison A. / Копенгаген. Европейское региональное бюро ВООЗ, 2011. 102 с.
11. Hrabko V. V., Moshnoriz M. M. (2006). Vdoskonalennya roboty nasosnoyi stantsiyi vodopostachannya [Improvement of the work of the pumping station of water supply]. Visnyk VPI, 6, 138 – 141.
12. Moskalenko V. V. (2004). Systemy avtomatyzirovannoho upravleniyya elektropyvoda. M. YNFRAM, 208.
13. Галкіна, О.П. Дегтяр, М.В. (2020). Баланс води на підприємстві при розробленні технологічних рішень. Комунальне господарство міст, (154), 148-153.
14. Aporei, P., Catrinescu, C., Teodosiu, C., Ungureanu, A., & Royer, S. (2018). Selective dissolution of TiO₂ crystalline phases: Physicochemical characterization and photocatalytic activity. Comptes Rendus Chimie, 21(3-4), 382-390.
15. Луцька Н.М. Дослідження та синтез оптимальних регуляторів для систем автоматизації технологічних комплексів неперервного типу [Текст]: дис. канд. техн. наук : 05.13.07 / Н.М. Луцька – Київ, 2006. – 180С.
16. Теорія автоматичного керування: Підручник. — 2-ге вид., перероб. і догі. К.: Либідь, 2007. — 656 с.
17. Курдюков А.П. Синтез робастного H_{∞} -регулятора для управления энергетической котельной установкой / А.П. Курдюков, В.Н. Тимин // Управление большими системами. – 2009. – № 25. – С. 179–214.
18. Бунке О.С. Автоматизація процесів керування інерційними контурами котлоагрегата теплової електростанції з використанням методу динамічної корекції [Текст]: дис. канд. техн. наук : 05.13.07 / О.С. Бунке – Київ, 2014. – 174 с.

					ДП.АКІТ.9500098.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		86

19. Артюх С.Ф. Основы автоматизированных систем управления энергогенерирующими установками электростанций [Текст] / С. Ф. Артюх, М.А. Дуэль, И.Г. Шелепов – Х.: Знание, 1998. – 324 с.
20. ДСТУ Б А.2.4-16:2008. Автоматизація технологічних процесів. Умовні графічні зображення приладів і засобів автоматизації в схемах. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009.
21. Клепач М.І. Теорія автоматичного керування. Навчальний посібник. / М.І. Клепач / Рівне: НУВГП, 2007. – 206 с.
22. Зеркалов Д.В. Безпека праці: Монографія / Д.В. Зеркалов. - Київ: Основа, 2012.
23. Жидецький В.Ц. Ж69 Основи охорони праці: Підручник. - 4-те вид., перероб. і доп. / В.Ц. Жидецький - К.: Знання, 2010. - 375 с.
24. ГОСТ 12.2.032-78 "ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования"
25. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.

					ДП.АКТ.9500098.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		87