

Сус Роман Ярославович

Розробка та дослідження автоматизованої системи управління  
процесом забору води з артезіанських свердловин

Керівник: проф. Стухляк П.Д.





## АНОТАЦІЯ

Дипломна робота складається з пояснювальної записки та графічної частини (ілюстративний матеріал – слайди).

Об'єм графічної частини дипломної роботи становить \_\_\_ слайдів.

Об'єм пояснювальної записки складає \_\_\_ друкованих сторінок формату А4 (210×297), об'єм додатків – \_\_\_ друкованих сторінок формату А4.

Дипломна робота складається з восьми розділів, в яких нараховується \_\_\_ рисунків та \_\_\_ таблиць з даними.

В роботі використано \_\_\_ літературних джерел.

В процесі виконання роботи було прийнято наступні рішення:

- Проаналізовано основні аспекти та параметри технологічного процесу водопостачання.
- Проаналізовано систему трубопроводів на виникнення критичних поломок та виходу з ладу системи.
- Розроблено концепцію автоматизованого керування водопостачанням.
- Розроблено систему керування на базі ПЛК ОВЕН.
- Оптимізовано роботу системи для забезпечення нормального режиму роботи системи водопостачання.

Ключові слова: СВЕРДЛОВИНА, ВОДА, КОНТРОЛЕР, АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП .....</b>	<b>7</b>
<b>1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА .....</b>	<b>8</b>
<b>1.1. Етапи та способи утилізації пластикових відходів .....</b>	<b>8</b>
<b>1.2. Класифікація полімерних відходів.....</b>	<b>Помилка! Закладку не визначено.</b>
<b>1.3. Властивості вторинних полімерних матеріалів.....</b>	<b>Помилка! Закладку не визначено.</b>
<b>1.3.1. Властивості вторинного поліетилену .....</b>	<b>Помилка! Закладку не визначено.</b>
<b>1.3.2. Властивості вторинного поліпропілену.....</b>	<b>Помилка! Закладку не визначено.</b>
<b>1.3.3. Суміші пластиків .....</b>	<b>Помилка! Закладку не визначено.</b>
<b>1.4. Молекулярні полімер-полімерні композиції. Деякі аспекти отримання .....</b>	<b>Помилка! Закладку не визначено.</b>
<b>1.5. Продукти деструкції при другій переробці поліолефінів.....</b>	<b>Помилка! Закладку не визначено.</b>
<b>1.5.1. Окиснювана деструкція .....</b>	<b>Помилка! Закладку не визначено.</b>
<b>1.5.2 Термічна деструкція поліолефінів.....</b>	<b>Помилка! Закладку не визначено.</b>
<b>1.5.3 Механічна деструкція .....</b>	<b>Помилка! Закладку не визначено.</b>
<b>1.6. Додатки .....</b>	<b>Помилка! Закладку не визначено.</b>
<b>1.6.1. Стабілізатори .....</b>	<b>Помилка! Закладку не визначено.</b>
<b>1.6.2 Пластифікатори.....</b>	<b>Помилка! Закладку не визначено.</b>
<b>2. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА .....</b>	<b>Помилка! Закладку не визначено.</b>
<b>2.1 Фізико-хімічні основи переробки пластмас .....</b>	<b>Помилка! Закладку не визначено.</b>
<b>2.2. Обґрунтування температурно-часового інтервалу переробки полімерів....</b>	<b>Помилка! Закладку не визначено.</b>
<b>2.3. Використання текучості під час розробки технології переробки полімерів.</b>	<b>Помилка! Закладку не визначено.</b>
<b>2.4. Особливості впливу текучості на якість виробів і конструктивні параметри обладнання .....</b>	<b>Помилка! Закладку не визначено.</b>
<b>2.5. Вибір методу переробки полімерів .....</b>	<b>Помилка! Закладку не визначено.</b>
<b>2.6. Технологічні властивості термопластів .....</b>	<b>Помилка! Закладку не визначено.</b>
<b>3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА .....</b>	<b>21</b>
<b>3.1. Технологічний процес вторинної переробки переробки полімерних відходів з виготовленням грануляту .....</b>	<b>22</b>
<b>3.2 Опис принципу роботи дробильного агрегату .....</b>	<b>Помилка! Закладку не визначено.</b>
<b>3.3 Агрегат для промивання відходів .....</b>	<b>Помилка! Закладку не визначено.</b>
<b>3.4 Гідроциклонний агрегат.....</b>	<b>Помилка! Закладку не визначено.</b>

<b>4 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА .....</b>	<b>30</b>
<b>4.1 Будова екструдера.....</b>	<b>36</b>
<b>4.2 Розробка автоматизованої системи керування процесом переробки полімерних відходів .....</b>	<i>Помилка! Закладку не визначено.</i>
<b>4.3 Розробка системи керування для контролю та управління температурними параметрами зон екструдера .....</b>	<i>Помилка! Закладку не визначено.</i>
<b>4.4 Вибір контролера і засобів автоматики .....</b>	<i>Помилка! Закладку не визначено.</i>
<b>5. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА.....</b>	<i>Помилка! Закладку не визначено.</i>
<b>5.1 Оцінка реологічних властивостей полімеру і композицій на їх основі.....</b>	<i>Помилка! Закладку не визначено.</i>
<b>5.2 Об'єкти дослідження і методика проведення експерименту ...</b>	<i>Помилка! Закладку не визначено.</i>
<b>5.3 Результати експерименту.....</b>	<i>Помилка! Закладку не визначено.</i>
<b>5.4 Обговорення результатів.....</b>	<i>Помилка! Закладку не визначено.</i>
<b>6. ОБГРУНТУВАННЯ-ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ.....</b>	<i>Помилка! Закладку не визначено.</i>
<b>6.1 Розрахунок основних витрат на систему управління.....</b>	<i>Помилка! Закладку не визначено.</i>
<b>6.2 Організація процесів виробництва .....</b>	<i>Помилка! Закладку не визначено.</i>
<b>7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....</b>	<i>Помилка! Закладку не визначено.</i>
<b>7.1 Організація охорони праці при роботі з системою управління .</b>	<i>Помилка! Закладку не визначено.</i>
<b>7.2 Електробезпека .....</b>	<i>Помилка! Закладку не визначено.</i>
<b>7.3 Розрахунок заземлення .....</b>	<i>Помилка! Закладку не визначено.</i>
<b>8 ЕКОЛОГІЯ.....</b>	<i>Помилка! Закладку не визначено.</i>
<b>8.1 Екологізація виробництва .....</b>	<i>Помилка! Закладку не визначено.</i>
<b>8.2 Зниження енергоємності та енергозбереження. ....</b>	<i>Помилка! Закладку не визначено.</i>
<b>8.3 Джерела електромагнітних полів, іонізуючого випромінювання та методи їх знешкодження. ....</b>	<i>Помилка! Закладку не визначено.</i>
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>92</b>
<b>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....</b>	<i>Помилка! Закладку не визначено.</i>

## ВСТУП

Використання води при постачанні до місця споживання при видобуванні її з артезіанських свердловин необхідно контролювати, щоб забезпечити постійне утилізація. Система водопостачання повинна бути прозорою, безпечною, надійною та керованою. Для контролю системи водопостачання необхідно запровадити моніторинг. Це може бути людський, фізичний або віддалений комп'ютеризований моніторинг. Який би метод не було обрано, повинні застосовуватися ті самі принципи. Надійність постачання є ключовою серед усіх принципів, оскільки це забезпечує виконання всіх інших принципів. Надійна система повинна забезпечувати, щоб пропозиція задовольняла попит як за якістю, так і за кількістю. Якість гарантована коли вода досягне свого місця призначення при необхідному тиску та витраті. Необхідна кількість повинна доставлятися користувачеві постійно, як і коли потрібно. Це означає, що в системі водопостачання не повинно бути втрат. Однак це неможливо для жодної системи, оскільки трапляються помилки, трапляються непередбачувані випадки і реакція системи може бути не вчасною.

Цей проект пропонує замінити ручний контроль водопостачання системою водопостачання з автоматизованим керуванням, контрольованим SCADA, для забезпечення постійного моніторингу та звітності про подачу води у всіх точках мережі водопостачання. Оскільки неможливо контролювати все, датчики тиску і витрати повинні бути встановлені в критичних точках мережі та передавати дані до центрального місця для аналізу та контролю рівня води в резервуарі, тиску бустерного насоса і місць витоків, коли вони відбуваються.

## 1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

### 1.1. Типи водоспоживачів і режим водоспоживання

В населених пунктах існує велика кількість споживачів води. Умови споживання ними води можуть відрізнятися, також як їх вимоги до якості води. Для визначення витрат води, які необхідно подати в населений пункт із врахуванням особливостей, усіх водоспоживачів можна згрупувати так: комунальний сектор, підприємства, поливання, тваринницькі ферми, пожежогасіння, спеціальні споживачі.

До споживачів комунального сектора належать: населення й худоба в особистому користуванні, а також різноманітні комунальні підприємства (лазні, лікарні, їдальні, дитячі садки, ясла тощо). Усі ми відносимось до цього споживача і добре знаємо умови витрачання води. Так, вночі ми практично не витрачаємо воду, зранку миємось, готуємо сніданок, витрати води збільшуються. Потім ідемо на роботу або по своїх ділах - витрати води зменшуються, перед обідом і в обід знову спостерігається підвищення витрат води. Після обіду скорочуються витрати води й аж до вечері, коли ми витрачаємо достатньо велику кількість води і до відходу до сну. Так схема витрачання води існує практично кожену добу. Протягом року водоспоживання коливається залежно від сезону (літній чи зимовий, в деяких випадках може бути ще весняно-літній та осінньо-зимовий), режиму роботи підприємств, агрокліматичних умов, зміни сільськогосподарських робіт тощо. Коливання водоспоживання є і протягом місяців та тижнів. Істотніші зміни водоспоживання бувають протягом доби. Ці коливання залежать від нічного й денного часу, режиму роботи підприємств, проведення різноманітних сільськогосподарських робіт, погодних умов, особливостей побуту місцевого населення, кількості робочих і вихідних днів, свят, проведення культурних, спортивних та інших заходів. Від збігу перелічених



обставин залежить водоспоживання в цілому за добу. Практично для будь-якого населеного пункту немає діб з однаковим рівнем споживанням води. Протягом однієї години також спостерігається коливання водоспоживання, яке залежить від конструкції водорозбірної арматури, самопочуття людей, збігу перелічених вище обставин. Слід відмітити і відношення людей до користування водою. У країнах західної Європи люди в більшості дуже раціонально використовують воду. Вони не дозволяють без потреби відкривати водорозбірні крани, спускати великі об'єми води в каналізацію, наповнюють для миття раковини, а брудну воду потім випускають і таке інше. На жаль, у нас у країні такий спосіб використання води практично не прижився.

Врахувати всі коливання практично не можливо. Якщо розглядати добове водоспоживання, то його можна зобразити у ВШ ляді графіку, який показує в процентах від максимально-добового водоспоживання кількість відбираємої води в будь-який момент (рис. 1). На ньому видно істотні підйоми і спади водоспоживання, але є ділянки, де водоспоживання коливається біля певного середнього значення. Найчастіше це значення відповідає якійсь годині або кільком годинам. Тому для практичного використання таких графіків ділянки з витратами близькими до якогось середнього значення, замінюють цим значенням, дістаючи ступеневий графік водного водоспоживання (графік1).

На ступеневому графіці можна виділити максимальну та мінімальну ординати. Такий графік із математичної точки зору ірактизується годинним коефіцієнтом нерівномірності

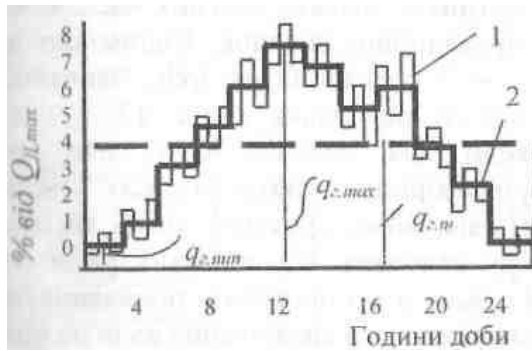


Рисунок 1.1 Графік добового водоспоживання: 1-фактичний; 2-розрахунковий (ступеневий).

Максимальним

$$K_{z,max} = \frac{q_{z,max}}{q_{z,m}}$$

мінімальним

$$K_{z,min} = \frac{q_{z,min}}{q_{z,m}}$$

За даними багаторічних спостережень за водоспоживанням комунального сектора різних населених пунктів побудовані типові графіки водоспоживання (аналогічні графіку 1 на рис. 1) або таблиці, які наведені в довідковій літературі. У таблицях для кожної години доби наводяться проценти добових витрат залежно від коефіцієнтів годинної нерівномірності.

Добова нерівномірність визначається коефіцієнтами добової нерівномірності: максимальним  $K_{max}$  і мінімальним  $K_{min}$ .

Поливання територій поділяється на механізоване миття, механізоване або ручне поливання майданів і проїздів із поліпшеним покриттям, поливання газонів, квітників, міських зелених насаджень, посадок у

теплицях, а також присадибних ділянок. Відповідно до кліматичних умов здійснюють 1—2 поливання на добу. Звичайно, його проводять ввечері або вранці по кілька годин (3...5 год). Нерівномірність відбирання води для поливів існує, але при проектуванні його беруть рівномірним протягом усіх годин здійснення. Поливання проводять? звичайно, протягом літніх місяців. Тривалість поливального періоду залежить від місцевих умов: на півдні, звичайно, він більший. Години, в які проводять поливання, не повинні збігатися з годинами максимального споживання води на інші потреби. Особливо гостро нині постає питання з поливанням присадибних ділянок. Раніше (10-15 років тому) зовсім не передбачалися системи для поливання таких ділянок, а населення брало воду для поливання з водопровідних мереж. Тому в одних місцях населеного пункту населення мало достатню кількість води, а в інших її не вистачало навіть для пиття. Витрати води на поливання дуже великі. Поки що при проектуванні передбачається поливання тільки 0,05 га з умовою, при цьому коефіцієнт нерівномірності дорівнює 0,4. Зараз у деяких населених пунктах передбачається спеціальний водопровід для поливу, який живиться неочищеною водою поверхневих джерел.

Тваринницькі ферми — молочні, відгодівельні, свинарські, вівчарські та інші є практично у кожному селі. Улітку худобу з молочних, відгодівельних, вівчарських ферм іноді виганяють за межі села. При розрахунках водоспоживання села водоспоживання цих ферм влітку може не враховуватись.



## 1.2. Методи забезпечення водопостачання об'єктів

Водопостачання міських споживачів добре механізовано і автоматизовано. Завдяки автоматизації людина практично звільнений від ручної праці при видобутку, доставки і розподіл води на підприємства і в побуті. Автоматизація дозволила збільшити продуктивність праці з водопостачання в 20 разів, знизити експлуатаційні витрати в 10 разів.

Для підйому і роздачі води застосовують водо насосні установки, що складаються з водоприймачів, очисних споруд, резервуарів чистої води або водонапірних башт, сполучної водопровідної мережі і електронасосів зі станціями управління. Найбільш широко в сільському господарстві поширені відцентрові й осьові насоси. Насоси виконують у моноблоці з електродвигунами і занурюють у воду або розташовують на поверхні землі.

Для підйому води з відкритих водойм і шахтних колодязів використовують також плаваючі відцентрові насоси. Широко поширені так звані об'ємно-інерційні насоси з електромагнітним вібраційним приводом, розраховані на малу подачу води (до 1 м<sup>3</sup> / ч при натиску 20 м).

У водопостачанні використовують водо насосні встановлення трьох типів: баштові з водонапірним баком, безбаштові з водонапірним котлом і безпосередньою подачею води у водопровідну мережу. Майже в 90% випадків використовують баштові водо насосні установки з витратою води до 30 м<sup>3</sup> / ч. Якщо витрата води становить 30... 65 м<sup>3</sup> / рік, то рекомендують двоагрегатні насосні станції з водонапірним котлом. При витраті води більше 65 м<sup>3</sup> / ч економічно доцільно використовувати насосні установки з безпосередньою подачею води в розподільну мережу.

Безбаштова автоматична водопідйомна установка типу ВУ (рис. 1.1) призначена для підйому води з відкритих водойм і шахтних колодязів глибиною до 5 м при напорі 25... 80 м. Установка складається з

всмоктувальної труби 1 з прийомним фільтром насосного агрегату 2, 3 та нагнітальної водорозбірної 12 труб з замикаючими вентилями 5, повітряно-водяного бака 4 з датчиком тиску 8 і струменевим регулятором запасу повітря, що має камеру змішування 6, повітряний клапан 7, жиклер 10 і дифузор 11.

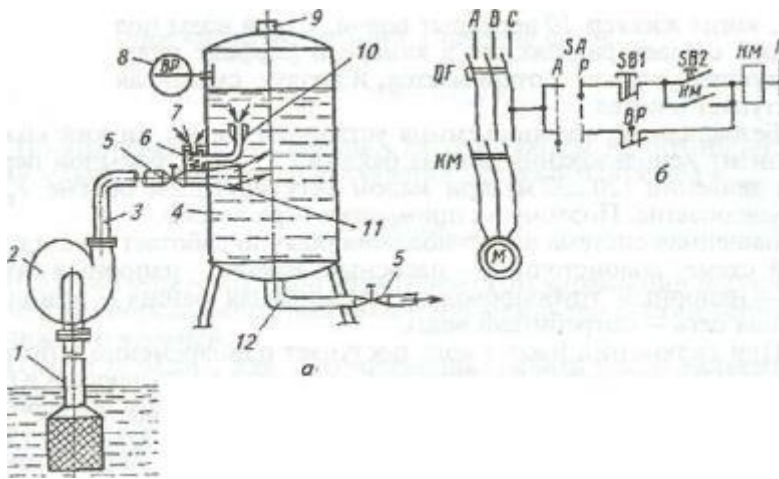


Рисунок 1.1 - Технологічна схема водопідйомної установки типу ВУ (а) і принципова електрична схема управління нею (б): 1 - усмоктувальна труба, 2 - насосний агрегат, 3 - нагнітальна труба; 4 - повітряно-водяний бак, 5 - замикаючий вентиль, 6 - камера змішування; 7 - повітряний клапан; 8 - датчик тиску; 9 - запобіжний клапан; 10 - жиклер ; 11 - дифузор, 12 - водозабірна труба

Схема управління в автоматичному режимі працює наступним чином. Вода до споживача надходить під тиском повітряної подушки, розташованої над водою в казані. При розборі води з котла тиск у котлі знижується і контакти манометричного датчика тиску ВР замикаються, котушка магнітного пускача КМ отримує харчування і включає електронасос.

Тиск включення, МПа, розраховують за формулою

$$P_1 = (H_{св} + H_p + H_{пот}) 10^{-2}$$

де  $H_{св}$  - вільний напір у споживача, м (для одноповерхових будівель 8 м, для двоповерхових - 12 м);  $H_p$  - різниця відміток розрахункових точок водопровідної мережі та мінімального рівня води в баку, м;  $H_{пот}$  - втрати напору у водопровідній мережі, м.

При збільшенні рівня води тиск у котлі підвищується до заданого значення, при якому контакти ВР розмикаються і насос відключається.

Тиск виключення, МПа, визначають за формулою

$$P_2 = 1,7 P_1 + 0,7$$

Ручне управління електронасосом здійснюється кнопками SB2 "Пуск" і SB1 «Стоп».

Обсяг повітряної подушки в баку постійно зменшується, тому що частина повітря розчиняється і виноситься з водою. Внаслідок цього зменшується тиск повітряної подушки і регулюючий об'єм в котлі знижується.

Для автоматичної підтримки обсягу повітряної подушки служить регулятор, що забезпечує підкачування повітря до тиску в баку 250 кПа. При максимальних аварійних тисках спрацьовує запобіжний клапан 9. Поповнення повітря відбувається, коли жиклер 10 перекритий водою. Струмінь води під дією насоса створює розрідження в камері 6 (ефект пульверизації), повітряний клапан 7 відкривається, і повітря, змішуючись з водою, надходить в котел.

Водопідіймальні установки мають низький коефіцієнт використання об'єму бака (0,15... 0,2) V, великий перепад тисків (20... 30 м) при малому регулюючому обсязі  $V_p$  та вибухонебезпечні. Тому їх застосовують обмежено.

Баштова система водопостачання зазвичай працює за наступною схемою: вододжерело - насосний агрегат - напірний агрегат - напірний трубопровід - водонапірна башта - водопровідна мережа - споживачі води.

При включенні насоса вода надходить одночасно до споживачів і в напірний бак вежі. Кількість надходить в бак води дорівнює різниці між подачею насоса і витратою споживачів. Після наповнення баку насосний агрегат відключається і водопостачання споживачів забезпечується водою, запасеної в баку. Місткість бака стандартних водонапірних веж-колон 15... 50 м<sup>3</sup> і більше. При цьому загальна місткість бака визначається як сума трьох об'ємів: регулюючого, запасного і «мертвого». «Мертвий» обсяг, як правило, невеликий. У нього входять відстійна частина бака і частина обсягу бака від його верхньої крайки до максимального рівня води (висотою приблизно 0,3 м).

Запасний обсяг повинен зберігати господарсько-виробничий запас на випадок перерви в електропостачанні і, головне, пожежний запас води, розміри якого визначаються будівельними нормами і правилами.

Регулюючий об'єм  $V_p$  (м<sup>3</sup>), подача насоса  $G_H$  (м<sup>3</sup> / ч) і поточне споживання води  $G_p$  (м<sup>3</sup> / ч) визначають тривалість роботи насосного агрегату

$$T_{\Pi} = V_p / (G_H - G_p)$$

тривалість паузи

$$T_{\Pi} = V_p / G_p.$$

Відповідно час циклу

$$T_{\Sigma} = T_p + T_{\Pi}$$



Максимальне число включень буде при:

$$n = 0,25 (G_n / V_p).$$

Найбільше число включень протягом доби

$$n_{\max} = 24n = 6 (G_n / V_p).$$

За цією формулою визначають робочий об'єм  $V_p$ , що обмежує максимальну кількість включень насосного агрегату  $n_{\max}$ :

$$n = 6 G_n / n_{\max}$$

Робочий об'єм бака при автоматичному управлінні насосним агрегатом визначається відстанню  $h$  між датчиками верхнього і нижнього рівнів.

Таким чином, для того щоб забезпечити число включень заглибного насоса не більше допустимого за технічними умовами, відстань між датчиками верхнього і нижнього рівнів (зона неоднозначності двохпозиційного регулятора) повинно бути

$$n = 6 G_n / (n_{\max} F)$$

де  $F$ -площа дзеркала води в баку, м<sup>3</sup>.

Досвід експлуатації заглибних насосів свідчить про те, що  $n_{\max}$  не повинно перевищувати 50... 70 (в залежності від конструкції) з інтервалом між включеннями не менше 5 хв.

Схема баштової водонасосної станції з датчиком рівня води зображена на рисунку 1.2, а, б. Занурювальний електродвигун 1 в моноліті з

багатоступінчастим насосом 2 закріплений на водопідйомних трубах 3 та опущений в свердловину 5. Труби закріплені в плиті 7, встановленої в санітарно-технічному приміщенні 11. Свердловини укріплені обсадними трубами діаметром 100... 450 мм. Електродвигуни виконані сухими, напівсухими або заповненими водою. Найбільш поширені електродвигуни, заповнені водою. Резинометалічні або пластикові підшипники також змащуються водою. До електродвигуну підведений кабель 6, закріплений на водопідйомних трубах хомутами 4. Усмоктувальна частина труби забезпечена сіткою, що затримує крупні домішки, які можуть міститися у воді.

Бак 12 баштами виконаний звареним з листової сталі і встановлений на цегляній, залізобетонною або металевій опорі. До баку підведений напірно-розвідний трубопровід 10. Кінець напірної труби доведений до верхнього рівня, а відведення води з бака відбувається через зворотний клапан у нижнього рівня. Бак обладнаний зовнішньою / 7 та внутрішньою 18 сходами, люком 16, вентиляційним клапаном 15, датчиком рівня 14 і водозливною трубою 13, виключає переповнення бака водою у разі не відключеної насоса. На водогоні встановлений манометр 8 і засувки 9.

Електродний датчик рівня складається з захисного корпусу 20, скоби 19 для кріплення датчика в баку і трубчастих електродів: верхнього 21, нижнього 23 і загального 22 рівнів. В середині центрального електрода розташований нагрівальний елемент, який включений в холодну пору для виключення обмерзання електродів.

На малюнку 1.2, в показана принципова електрична схема керування типу ПЕТ баштової водо насосної установкою. Вона дозволяє в ручному та автоматичному режимах пускати і зупиняти електронасос, захищає електродвигун від перевантажень і коротких замикань, сигналізує за допомогою сигнальних ламп про включеному і вимкненому станах насоса.



нижнього рівня, а потім SL1 верхнього рівня. При цьому реле К V отримує живлення через воду.

Контактами KV: 1 воно розриває ланцюг живлення магнітного пускача KM, і електронасос відключається. Реле KV залишається включеним через контакти KV: 2, SL1 і SL2. Воно вимикається тільки тоді, коли вода розімкне не тільки верхні контакти, але і нижні. У цьому випадку контакти KV: 1 на ланцюзі магнітного пускача KM викличуть повторне включення електронасоса M. Вимкнене стан насоса визначається по зеленій лампі HL1, а включене - по червоній HL2.

Захист двигуна здійснюється за допомогою типових розчепителів магнітного пускача KM а автомата QF.

На холодний період року вимикачем S включається електрообігрівач ЄК датчика, що запобігає обмерзання і промерзання електродів датчика рівня.

## 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

Впровадження централізованої, автоматизованої системи водопостачання та розподілу не лише дасть змогу оновити поточний стан мережі, але зможе гарантувати надійність та ефективність системи, пропонованої споживачам. Потреба у артезіанській воді збільшується з кожним роком, і тому більше води потрібно виводити з ґрунту. Важливим є повідомляти про кожен літр води, одержуваної з свердлових. На даний час відбувається тенденція зміни систем, які колись залежали від ручного керування оператора, в сторону до однієї централізовано керованої системи з точними можливостями звітування та діагностики, з можливістю компенсації втрат води внаслідок витікання, розривів труби або зносу обладнання. Це можливо за рахунок використання сучасних засобів прийомів виявлення витоків.

Моніторинг продуктивності системи в режимі реального часу дозволяє оператору зосередитись на більш вимогливих і невідкладних завданнях. Це гарантує, що ресурси, інструменти та персонал спрямовуються на більш наполегливі завдання. В результаті виходить кваліфікований, відданий робочий ресурс з водопостачання, який може працювати з критичними завданнями в міру їх виникнення. Це повинно призвести до скорочення експлуатаційних витрат.

Впровадження сучасного обладнання, таких як регулюючі клапани, індикатори тиску і витрати, контролери та передавачі, резервні джерела живлення в критичних місцях повинні підвищити надійність водопроводу та термін експлуатації насосного обладнання. Резервне джерело живлення повинно бути встановлене, щоб переконатися, що подача води не припиниться в будь-який час через відключення електроенергії. Тому це повинно зменшити знос а також витрати на насоси, що виходять з ладу,

вартість електроенергії, спожитої на насосній станції, та кількість тріщин в трубах через різкі зупинки накачування.

Необхідно вирішити такі науковопрактичні завдання:

- Оцінка характеру існуючої системи водопостачання з метою визначення прогалів у проекті;
- Розробка оптимізованої системи водопостачання з використанням доступних інструментів для вирішення виявлених помилок;
- Розробка системи моніторингу розподілу води для забезпечення ефективного та надійного водопостачання до споживачів.

## **2.1. Принципи роботи системи водопостачання з артезіанських скважин**

Як правило вода у ґрунті знаходиться в кількох межах і її забір може проводитись різними методами. Водний ресурс розташовується у більшості випадків у двох основних пластах. Перший пласт – це ґрунтові води (Unconfined aquifer, рис. 2.1). Вказаний водний ресурс має в основному невелику та доволі нестабільну кількість води, джерелом поповнення якої в основному є опади з атмосфери у вигляді снігу в зимовий період або дощів у інші пори року. Якість такої води є незадовільною і вона не підходить для пиття без додакової фільтрації та обробки. Таку воду при реалізації систем забору можна використовувати як додатковий водний ресурс в технічних цілях, для реалізації поливу тощо. Для добування води в будь-яких випадках проводять буріння скважин. Для ґрунтових вод, як правило, глибина такої скважини не перевищує 10 метрів. При цьому процес добування характеризується дещо специфічною гідравлічною характеристикою і вимагає застосування спеціального поверхневого насоса. Проте слід відзначити, що в деяких випадках ґрунтові води можуть залягати і на дещо більшій глибині. В такому випадку основним елементом подачі стає

поверхневий насос з інжектором, який забезпечує викачування води на глибині більше 10 метрів.

Вода, яка подається з артезіанських скважин має певні особливості. Як видно з рисунку 2.1 вода з таких скважин може поступати кількома методами. Подача може відбуватись з використанням насосного обладнання або без нього. Це залежить від того де встановлена скважина та де знаходиться рівень ґрунтових вод. Якщо скважина встановлена в низині нижче рівня, то вода буде подаватись самовільно під певним тиском. При знаходженні скважини вище цього рівня необхідно встановлювати додаткове обладнання для забезпечення процесу викачування водяних ресурсів.

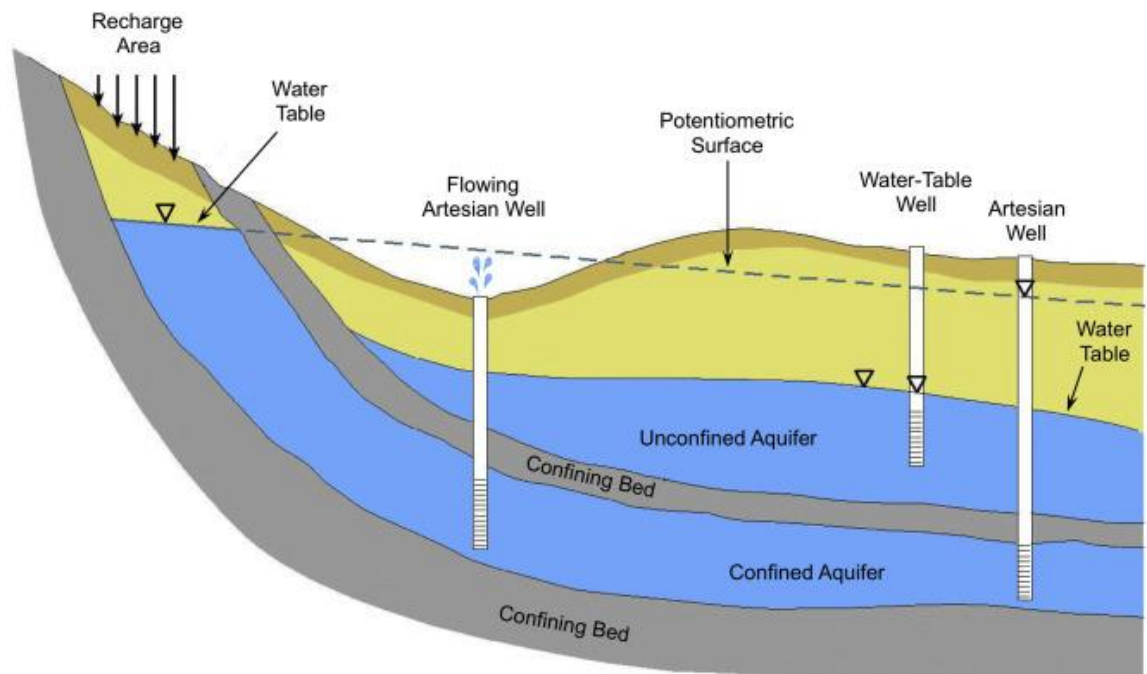


Рисунок 2.1 – Класичний розподіл водних ресурсів

Сама по собі артезіанська вод є набагато чистішою та, як правило, в більшості випадків придатна для безпосереднього пиття. Водяне середовище артезіанського типу не залежить від погодніх умов, пори року, тощо. В результаті водний ресурс в ньому є більш стабільний, що є краще для системи воопостачання. В такій скважині, в більшості випадків, спостерігається стабільний тиск та кількість води. Єдиним недоліком такого водозабору є

висока глибина самої скважини, що приводить до необхідності глибинного буріння та встановлення глибинних насосів. Як правило глибина таких скважин складає від 20 до 100 метрів, а в деяких випадках буває і більшою.

При проектуванні системи водозабезпечення необхідно враховувати той факт, що вона повинна забезпечувати стабільний тиск води незалежно від витрати, нормально реагувати на різкий перепад тисків та збільшення витрати, реагувати на можливі аварії та наявність витоків води. Автоматизація систем водопостачання є важливою задачею на сьогоднішній час, оскільки забезпечить можливість підвищення ефективності процесів забору та транспортування водних ресурсів до споживача та економію витрат електроенергії за рахунок оптимізації роботи електродвигунів та нагнітачів. Автоматизація таких систем також забезпечує можливість підвищення якості самого процесу водопостачання.

Для забезпечення водопостачання використовується досить велика кількість споруд, апаратів та спеціальних механізмів, які повинні забезпечувати синхронну роботу один з одним. Слід відмітити, що система водопостачання передбачає не лише подачу води, а також і повинна забезпечувати роботоздатність системи каналізації. Система водопостачання є досить складною і має у своєму складі системи очистки води та фільтрації, систему труб для транспортування, каналізаційних стоків, насосних станцій, водонапірних будівель та обладнання.

В процесі доставки води до споживача відбувається цілий набір певних процесів, а зокрема мікробіологічних, гідравлічних та фізико-хімічних.

Основними особливостями таких систем є:

- необхідність забезпечення стабільної роботи всього обладнання (забезпечується, як правило, дублюванням насосів, резервних клапанів, тощо);



- характер роботи обладнання, зокрема насосів в умовах сильно змінних навантажень (таке навантаження зменшують за рахунок встановлення ресиверів та деякого іншого обладнання);
- висока залежність принципів роботи та продуктивності і режимів від наявного водного середовища;
- необхідність віддаленого контролю та управління, оскільки більшість керуючих елементів віддалені географічно один від одного;
- відносно висока складність реалізації забору та важливість забезпечення якості води;
- великі затрати протужності на приводи, що вимагає забезпечення економічних режимів роботи більшості обладнання;
- важливість встановлення резервного обладнання для забезпечення безперебійної роботи.

Виходячи з вище сказаного важливим є автоматизація наступних модулів комплексної системи:

- власне самих всердловин (контроль роботи насосів та їх захист);
- насосних станцій та станцій підйому (безперервність роботи, компенсація скачків тиску);
- покращення ефективності роботи фільтрувального обладнання;
- створення контрольних точок старспортних мереж для оперативного виявлення неполадок;
- оптимізація роботи станцій очистки каналізаційних вод.

У загальному випадку система повинна містити в всьому складі систему автоматизованих давачів, які саме для води, чк правило, аналізують температуру, тиск, витрату. Також в деяких випадках встановлюються додаткові давачі роботи мотора, числа обертів, споживатого струму, тощо. Проте визначальними факторами є тиск та витрата. Для передачі даних на центральний пункт керування та диспетчеризації необхідно встановлювати додаткові перетворювачі, яку узгоджують рівні сигналів, модулів ввідів

виводів, для забезпечення можливості розширення точок контролю, програмованих контролерів, для оперативного збору даних та можливої реакції на місцях виникнення аварій. Також важливим аспектом є використання засобів віддаленої передачі даних на відстань. Для зв'язку диспетчера з давачами використовують всі можливі види каналів передачу від оптоволокон, Ethernet, мобільного зв'язку, радіоканалів до супутникових систем зв'язку.

В таких системах давачів – це пристрої, які безпосередньо проводять вимірювання вказаної характеристики та передають її значення у контролер. На сьогоднішній час можуть використовуватися інтелектуальні системи давачів, які проводять первинну обробку інформації та можуть самостійно частково регулювати об'єкт керування.

Також для повноцінної реалізації проекту необхідно використовувати перетворювачі сигналів, які служать для узгодження певних параметрів між собою. Такі пристрої займаються переворотом величин з давачів у пакети даних або сигналів заданих рівнів, придатних для подальшого використання контролерами або засобами SCADA систем.

## **2.2. Розрахунок технологічних параметрів для забезпечення роботи системи водопостачання**

При реалізації системи автоматичного керування процесом водопостачання найперше необхідно керувати двигуном, який накачує воду в резервуар, контролювати наповнення резервуару та тиск в ньому. Для простих рішень нормативне значення тиску складає 0,3-4,5 атмосфери для теплої води та 0,3-0,6 атмосфери для постачання холодної.

Якщо необхідно при проектуванні визначити висоту напірної вежі, для цього можна використати формулу:

$$p = \rho \cdot g \cdot h \quad (2.1)$$

де,  $\rho$  - густина води,  $1000 \text{ кг/м}^3$ ;

Необхідку кількість води також розраховують по формулі. Для проведення розрахунків робочий тиск приймемо 1,2 атмосфери. Отже,

$$h = \frac{p}{\rho \cdot g} = \frac{121590 \text{ Па}}{1000 \text{ кг/м}^3 \cdot 9,8 \text{ м/с}^2} = 12,4 \text{ м}$$

Також при проведенні розрахунків вибору системи необхідно знати, який об'єм ємності встановлювати для ресивера, основна функція якого зберігати тиск та віддавати його в мережу коли потрібно. Виходити потрібно з того, що необхідно для середнього споживання забезпечити подачу води на протязі 2-3 годин. Такого живлення повинно вистачати для забезпечення роботоздатності при вимиканні світла.

Для розрахунків необхідно мати приблизні заміри витрати води. На початковому етапі формування системи їх приблизно розраховують. Коли ж система експлуатується в повній мірі, то за допомогою збору статистики та її аналізу можна спрогнозувати точні витрати води. Розрахунок проводиться за формулою:

$$Q_{cc} = \sum_{i=1}^n q_i \cdot m_i \quad (2.2)$$

де,  $q_i$  – середньодобове споживання води одним споживачем  $m_i$ ;

Просумовуючи, маємо

$$Q_{cc} = 200 \cdot 80\text{л} + (8 + 4 + 2) \cdot 25 = 16350 \text{ літрів за добу}$$

Максимальна годинна витрата води становить:

$$Q_{чр} = \frac{Q_{cc} \cdot K_c \cdot K_{ч}}{24} \quad (2.3)$$

де,  $K_c = 1,3$  коефіцієнт нерівномірності споживання води за добу

$K_{ч} = 2,3$  коефіцієнт нерівномірності споживання води за годину.

$$Q_{\text{чр}} = \frac{16350 \cdot 1,3 \cdot 2,3}{24} = 2037 \text{ л}$$

Сумарний об'єм водонаріпного бака буде рівний:

$$V = V_{\text{п}} + 2 \cdot Q_{\text{чр}} + 0,4 \cdot (V_{\text{п}} + 2 \cdot Q_{\text{чр}})$$

$V_{\text{п}}$  – протипожежний запас з розрахунку можливості гасіння пожежі тривалістю в 10 хвилин у двох різних місцях при витраті 10 л/с.

$Q_{\text{чр}}$  – витрата води для забезпечення 2 годин роботи при вимиканні світла

$0,4 \cdot (V_{\text{п}} + 2 \cdot Q_{\text{чр}})$  – регульоване значення кількості води для ресивера.

Отже в результаті маємо:

$$V = 21600 + 2 \cdot 2037 + 0,4 \cdot (21600 + 2 \cdot 2037) = 36700 \text{ л}$$

В результаті такого аналізу можна проводити вибір основних резервуарів для забезпечення водопостачання для певного району си господарства.

Також залежно від глибини залягання води та росташування сважин проводиться вибір насоу або насосів залежно від глибини занурення та витрати води при споживанні. Якщо витрата перевищує можливості насоу, необхідно додавати джерела забору води

Схема під'єднання такого насоу до автоматизованої системи приведена на рис. 2.2.

Виходячи з обраних насосів по верхньому значенню обирають давачі тиску, які потім під'єднують до регуляторів тиску. Це як правило ПД регулятори, які при коректному налаштуванні добре реагують на зміну стану об'єкту. в нашому випадку було обрано ОВЕН ТРМ 202.

Також для двигуна встановлюється пускач, який забезпечує плавний пуск двигуна та захист його від поломок.

Принци роботи даної схеми наступний. Залежно від налаштувань, якщо в баці відсутня вода, регулятор по вимірах тиску та рівня проведе запуск двигуна за допомогою пускача.

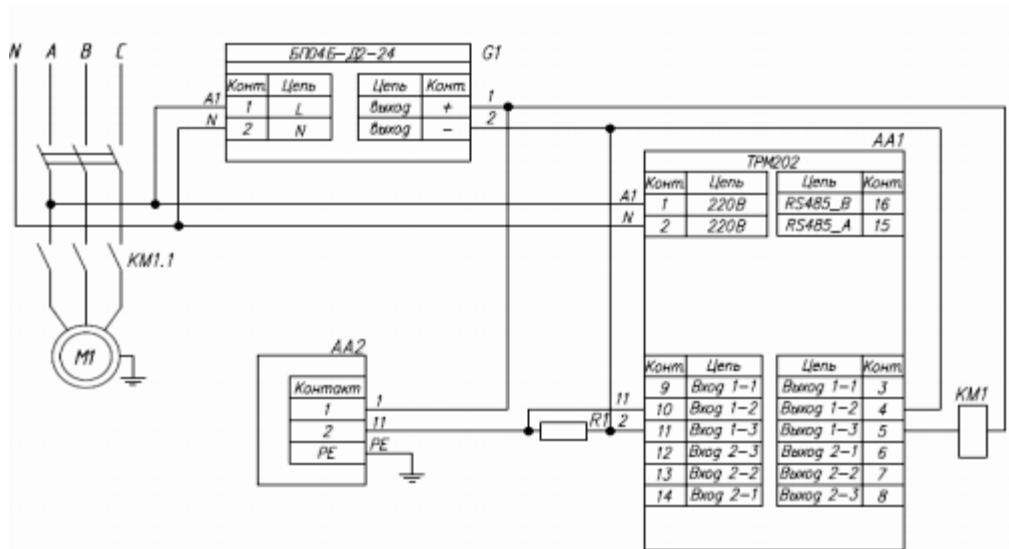


Рисунок 2.1 – Схема з'єднань двигуна насоса, давача тиску та регулятора TRM 202.

Таким чином відбувається рівномірне завантаження насоса та оптимальні режими роботи, без ривків та раптових зупинок. На рис. 2.3 приведено графік такого процесу.

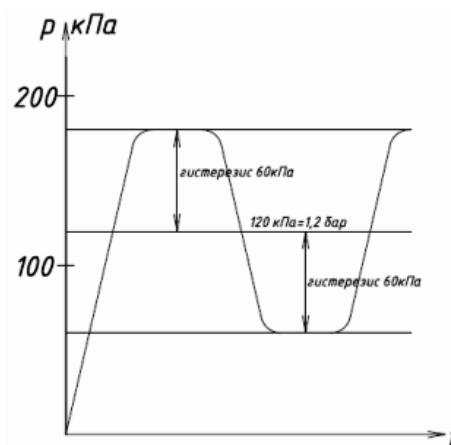


Рисунок 2.3 – Графік завантаження насоса для накачування баку.

Коли ж тиск досягне свого значення (в нашому випадку оптимальне значення плюс гістерезис регулятор проведе зупинку насоса. Коли ж об'ємності витратиться до оптимального мінус гвстерезис насос знову запкститься.

## 3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

### 3.1. Розробка автоматизовано системи управління забором води

При класичній реалізації систем постачання води в найпростішому вигляді її схема буде як показано на рис. 3.1.

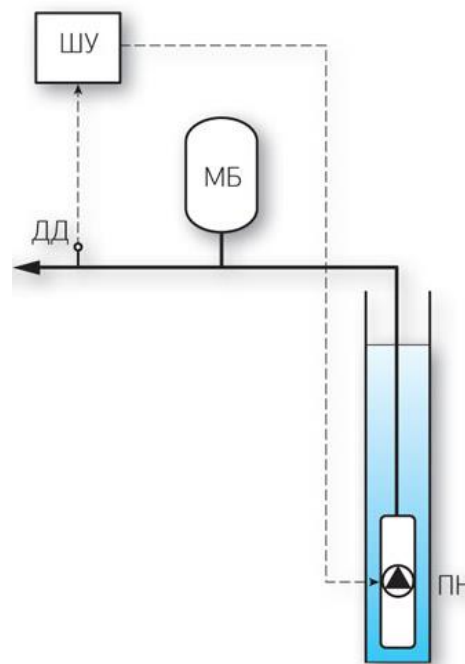


Рисунок 3.1 – Класична реалізація системи водопостачання:

ПН – насос, який забезпечує накачування води; ШУ – система керування приводом насоса, яка вимірює тиск в системі; МБ – ємність мембранного типу в найпростішому випадку; ДД – вимірювач тиску в трубопроводі до споживача.

Глибинний насос насос вмикається в потрібний час та вимикається за допомогою системи управління, яка вимірює значення тиску на боці споживача для забезпечення безперервної подачі води. Для того, щоб при вмикання споживання не проводився пуск насоса, оскільки вмикання може

відбувати кілька раз за короткий час, в систему встановлюють ресивер, тобто ємність яка містить певну кількість води. Наявність жмності приваодить до того, що насос вмикається лише для накачування бака в певні проміки часу незалежно від того як вмикається споживання.

При малій продуктивності скважини в ній необхідно ставити давач рівня і проводити докачування по мірі наповнення скважини.

Така схема є самою простою, проте має багато недоліків. По перше при такі реалізації насос вже ж таки може працювати в критичних режимах при суттєвому збільшенні витрати води.

В результаті пропонується інакший варіант системи, який приведено на рис 3.2. [7].

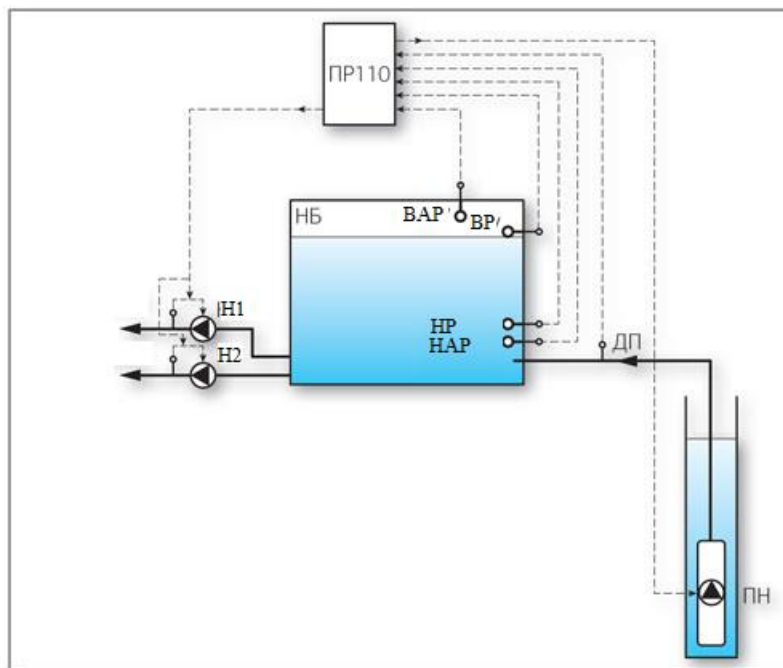


Рисунок 3.2 – Модифікована система забору води:

ПН – глибинний насос; ДП - витратомір перед ємністю; Н1 – насос для технічних потреб; Н2 – насос для юазового водозабезпечення; ПР – регулятор для контролю насосу та подачі води; НБ – накопичувальний бак; ВАР – верхній аварійний рівень; НАР – нижній аварійний рівень; ВР – верхній рівень; НР – нижній рівень.

В даній схемі глибинний насос проводить процес накачування ємності НБ. Також в даній схемі використано дві насосні станції, одну для споживання води з вимогами до чистоти, а другу для забезпечення технічних потреб, без особливих вимог до води. Забір води для потреб – в середині бака, для технічних – внизу бака. Технічний забір води також забирає і осад з баку, які збираються в результаті відстоювання.

В система існує захист від пуюого ходя глибинного насосу за рахунок витратоміру перед баком. Якщо від не показує витрати, насос вимикається і виводиться сигналізування поломки. Також при відсутності витрати систем очікує близько 15 хвили для прибування води, а тоді знову пробує вмикати насос.

Насос сам по собі вмикається по сигналах давачів верхнього та нижнього рівнів, які працюють по схемі гістерезису ю також є наявні аварійні рівні, коли система сигналізує оператору про неполадку і критично зупиняє подачу води. Верхній рівень проводить захист від переливання, а нижній – від сухого ходу. При передачі сигналу по наперед заданому алгоритму система через певний час пробує перезапустити водопостачання. Проте якщо ситуація не міфняється, вона зупиняє роботу. Такі режими забезпечують безпечні умов роботи обладнання.

Для більших підприємств, зокрема при реалізації системи водопостачання, необхідно використовувати багато контролерів та системи з можливістю диспетчерського керування. При застосуванні контролерів ОВЕН легко використовувати програмне середовище CodeSys, яке дозволяє використовувати та легко створювати інтерфейс користувача з можливістю керування.

Для добування води у системі водозабезпечення житлового району використовується 8 артезіанських скважин, воді з яких накачується в 6 танків по 350 кубометрів кожен. Також є встановлені додаткові накопичувальні резервуари для забору води в технічних цілях. Для забезпечення нормального



тиску в систем використано 4 напорних насоси, як забезпечують підтримку тиску в системі. Самі скважини, з яких проводиться забір територіально рознесені, тому зв'язок з ними проводиться шляхом мобільної передачі. Система автоматизовано керує своєю скважиною по принципу, описаному вище. Також в процесі роботи за певний період вона відсилає статистичні дані в диспетчерський пункт. Також в системі передбачено ставновлення пожежних насосів аварійного значення, а також є один дренажний насос, для запобігання певним затопленням внаслідок прориву труби, тощо.

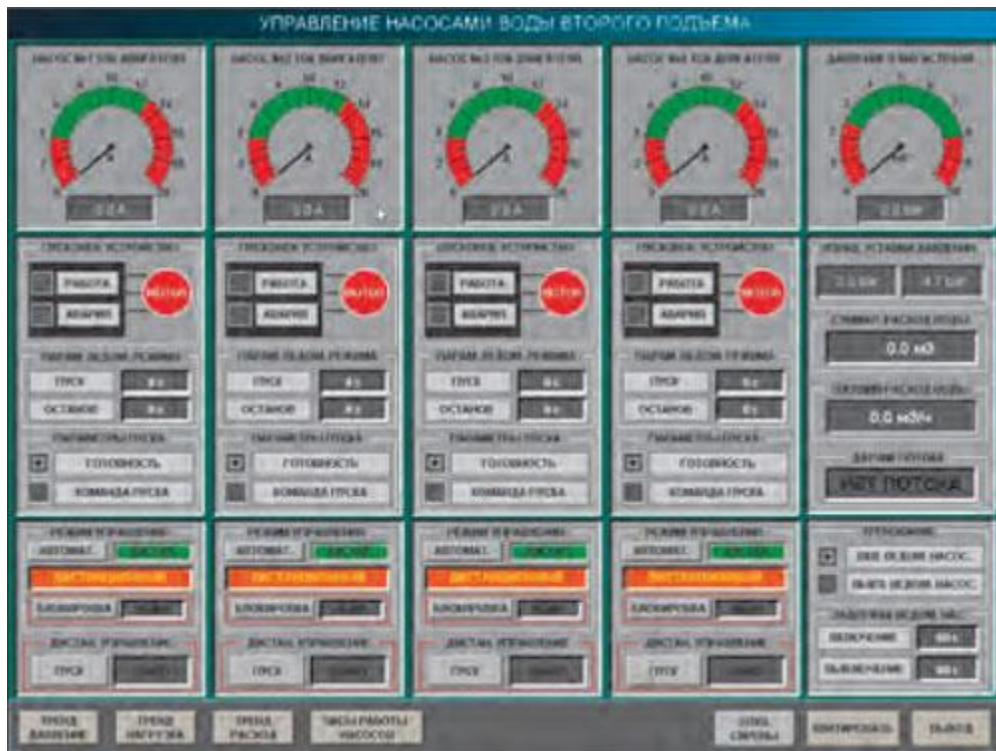
До автоматизації керування цими насосами відбувалось в ручному режимі, що створювало важкість для персоналу та великі затрати. Робочі проводили обхід усіх насосів з певним періодом та проводили контроль.

В результаті модернізації в диспетчерському пункті було встановлено контролер ОВЕН ПЛК 110, який проводив комплексний контроль системи та отримував дані зі скважин. Кожна ж така скважина мала в своєму складі мала також контролер з під'єднаними до нього модулями вводу-виводу до яких під'єднувались датчики тиску, рівнів у баку, витратоміри та аварійні реле. Сам контролер з'єднаний з диспетчерським пунктом по протоколу TCP/IP з використанням стандартних мережевих технологій.

В такому виконанні кожен контролер контролює свою скважину та регулює її роботу. При цьому він також передає дані диспетчеру. Одна оператор в змозі контролювати роботу всієї системи водопостачання та при виникненні аварійних ситуацій здатний адекватно встановити причини її виникнення та викликати відповідний персонал доповісти їм про обладнання, необхідне для швидкої і якісної ліквідації аварійного стану.

Мнемосхема для контролю всього технологічного процесу та роботи насосів приведена на рис. 3.3.

Для кожного насосу контролер аналізує значення входів порівнює їх за своїми та за рахунок виконання керуючої програми проводить активацію виходів і через перетворювачі вмикає відповідне обладнання



Риунок 3.3. – Мнемосхема оператора для контролю роботи насосів

Програма контролера діагностує всі аналогові та дискретні датчики, встановлені на установках. Усі помилки реєструються та візуалізуються для кожного параметра: коротке замикання, досягнення меж тривоги, відсутність зв'язку, відкрита схема. У разі відмови датчика диспетчер отримує інформацію про характер несправності. Якщо диспетчер не вчасно втручається в процес управління, система продовжує працювати відповідно до показань інших справних датчиків або перемикається на обхід гілок алгоритму управління. Аналізуючи параметри датчика струму, програма, наприклад, може визначити суху роботу насоса і вимкнути несправний насос або переключитися на робочий. Якщо датчик тиску несправний, програма дозволяє насосу працювати, при цьому регулюється витрата і поточний струм води.



Рисунок 3.4 – Реакція системи на несправності.

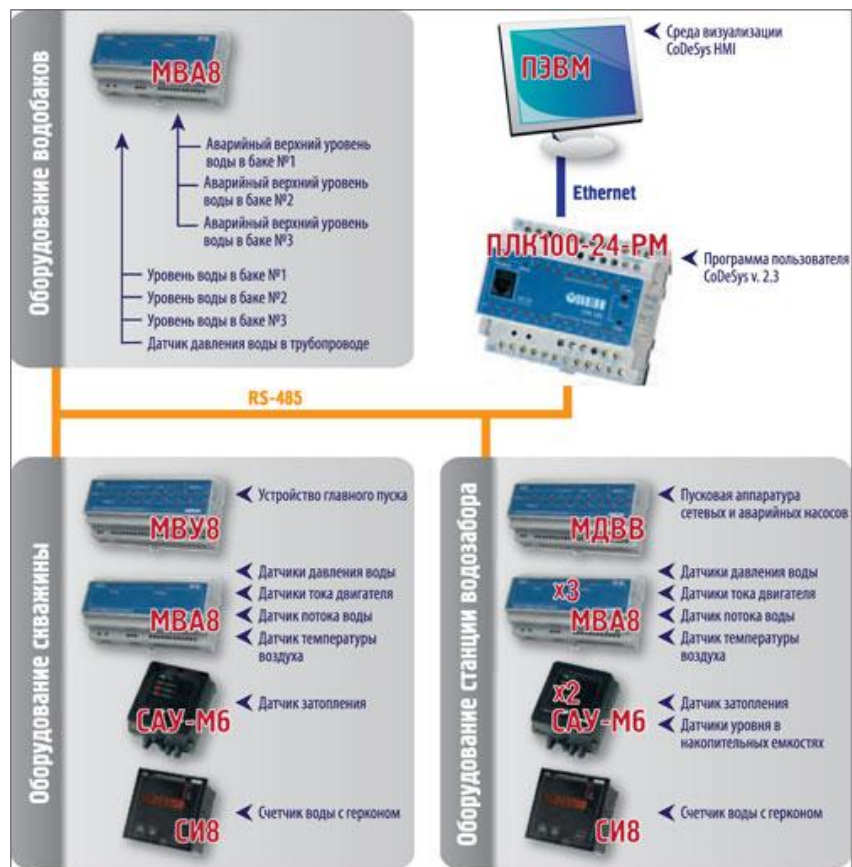


Рисунок 3.5 – Приклад реалізації системи на базі обладнання ОВЕН.

### 3.2 Розрахунок втрат у системі водопостачання

Оскільки вода протікає через трубу в сталому стані, опір потоку зазвичай розвивається через тертя в трубі. Тому для подолання цього тертя необхідна енергія, щоб забезпечити подачу води до кінця трубопроводної мережі. Для визначення загальної енергії води в будь-якій точці трубопроводу застосовується теорема Бернуллі, як у рівнянні 1

$$H_s = Z + H_p + \frac{V^2}{2g} \quad (3.1)$$

де  $H_s$  - загальна висота системи [м];

$Z$  - висота напору [м];

$H_p$  - статичний напір [м];

$V^2/2g$  - швидкість води [м].

Опір потоку спричиняє втрати тиску вздовж трубопроводу, виміряні як висота водяного стовпа в метрах і зазвичай називають втратою в голові системи. Багато факторів сприяють втраті в трубах, в тому числі: в'язкість рідини, діаметр труби, шорсткість внутрішньої поверхні труби, зміни висот в системі та тривалість ходу рідини. Існує дві основні формули визначення коефіцієнта тертя труби: рівняння Дарсі-Вайсбаха та рівняння Хазен-Вільямса, обидва враховують коефіцієнт тертя та діаметр труби. Для сталевих, чавунних та мідних труб застосовується формула Дарсі-Вайсбаха, а для аналізу пластикових труб застосовується формула Назена Вільямса:

$$\Delta h_f = f \cdot \left(\frac{L}{D}\right) \cdot \left(\frac{V^2}{2g}\right) \quad (3.2)$$

де,  $\Delta h_f$  - втрата в голові [м];  
 $f$  - коефіцієнт тертя без розмірів;  
 $L$  - довжина роботи труби [м];  
 $D$  - внутрішній діаметр роботи труби [м];  
 $V$  - швидкість рідини [м / с];  
 $g$  - прискорення через гравітацію [м / с<sup>2</sup>].

Рівняння Дарсі-Вайсбаха тепер стало стандартним рівнянням для обчислення втрат голови в трубах, де витрата турбулентна. Потік в трубі може бути ламінарним або турбулентним. Для визначення структури потоку води в трубі необхідно обчислити число Рейнольдса,  $Re$ . Число Рейнольдса - це безрозмірне число, яке дає міру відношення інерційних сил до в'язких сил для заданих умов потоку і розраховується з використанням динамічної в'язкості та щільності ( $\mu$ ,  $\rho$ ) рідини, середньої швидкості рідини та гідравлічного діаметра, як показано рівняннями 3.3 та 3.4. Труби, які мають гладкі стінки, такі як скло, мідь, латунь та поліетилен, мають меншу стійкість до тертя і, отже, призводять до менших втрат на тертя, ніж труби з більшою внутрішньою шорсткістю, такі як бетон, чавун та сталь. Потік вважається ламінарним, коли обчислене число Рейнольдса менше 2300, і турбулентним, коли число Рейнольдса більше 4000:

$$Re = \frac{VD}{\vartheta} \quad (3.3)$$

та

$$\vartheta = \frac{\mu}{\rho} \quad (3.4)$$

де,  $Re$  – число Рейнольдса;  
 $\vartheta$  - кінематична в'язкість [м<sup>2</sup> / с];

$\mu$  - динамічна в'язкість [кг / мс];

$\rho$  - густина [кг / м<sup>3</sup>].

Абсолютна шорсткість труби,  $\varepsilon$ , забезпечується виробником труби, і тому відносна шорсткість труби,  $rr$ , обчислюється, як показано у рівнянні 3.5:

$$rr = \frac{\varepsilon}{D} \quad (3.5)$$

де,  $rr$  - розмірна відносна шорсткість;

$\varepsilon$  - абсолютна шорсткість труби [мм].

Для турбулентного потоку для визначення коефіцієнта тертя застосовується рівняння Коулбрука-Вайта:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 1.14 - 2 \log_{10} \left( \frac{\varepsilon}{D} + \frac{9.35}{Re \sqrt{f}} \right) \text{ for } Re > 4000 \quad (3.6)$$

де,  $f$  – безрозмірний коефіцієнт тертя.

Це неявне рівняння, отже, для визначення значення коефіцієнта тертя,  $f$  потрібна математична ітерація. Дані з рівняння Колбрука-Вайта побудовані як функція числа Рейнольдса та відносної шорсткості, щоб точно визначити правильний коефіцієнт тертя для турбулентного потоку в кругових трубах, на діаграмі, відомій як діаграма Муді (рис. 3.6). Потім коефіцієнт тертя з діаграми Муді застосовується у формулі Дарсі-Вайсбаха для визначення втрати напору внаслідок тертя вздовж водопроводу. Трубопровідна арматура вздовж трубопроводу, наприклад, клапани, вигини і трійники, також вносять внесок у нарощування опору потоку води в трубі, викликаючи втрати напору, відомі також як головка швидкості води, що тече в трубу.

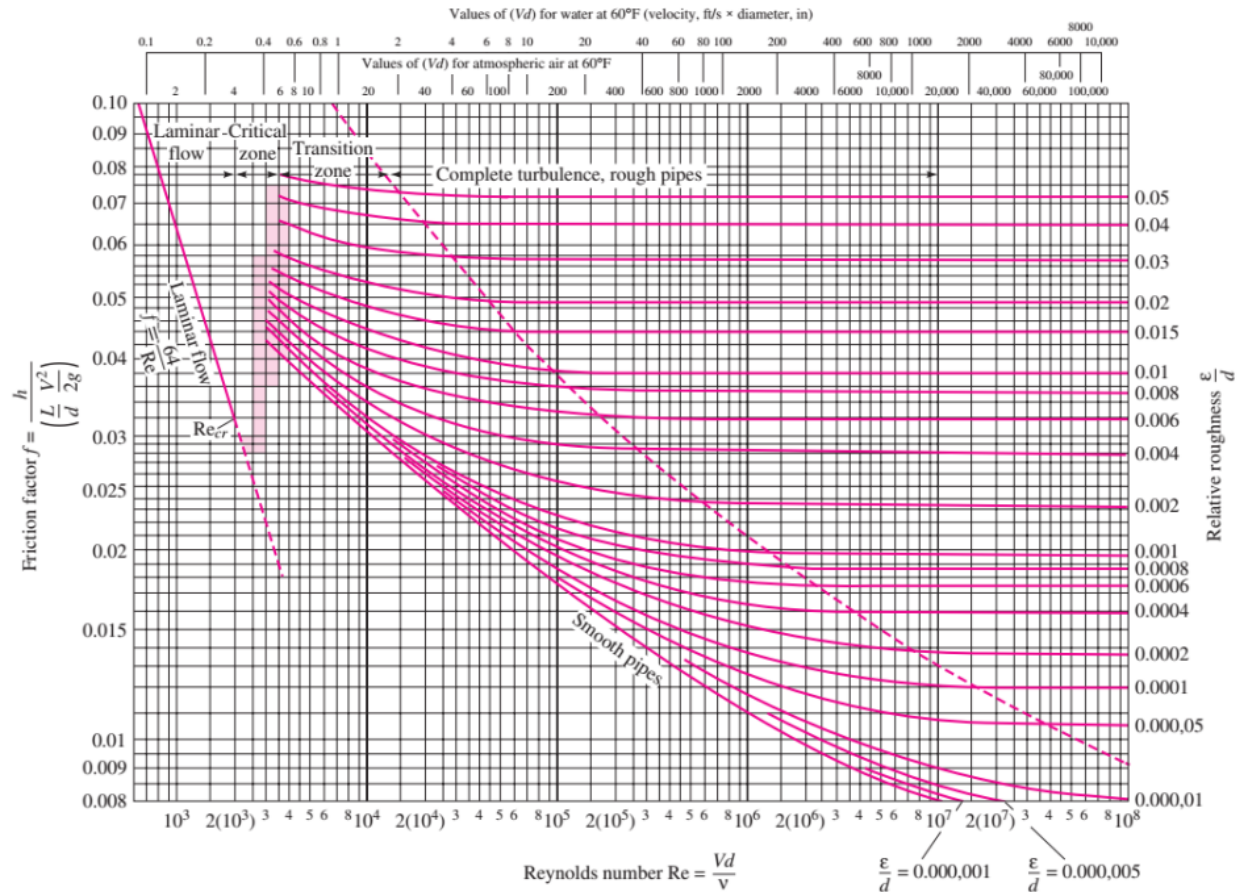


Рисунок 3.6 – Діаграма муді для розрахунку втрат.

Для отримання втрат внаслідок запірної арматури були розроблені коефіцієнти втрат або коефіцієнти  $K$  для різних фітингів труб. Рівняння 3.7 обчислює втрату голови швидкості:

$$h_s = K \frac{V^2}{2g} \quad (3.7)$$

де,  $h_s$  - втрати напору через незначні втрати в кранах [м];

$K$  - коефіцієнт втрат.

Тому нам потрібно обчислити гідравлічний напір води у критичних точках мережі, особливо на стиках, після клапанів та на входах та виходах води. Аналіз зміни напору системи призводить до нанесення лінії гідравлічного класу, яка показує падіння тиску в метрах уздовж трубопроводу. Це важливо для проектування потужності насоса або

проектної головки і розраховується за сценарієм без потоку, сценарієм повного потоку та проектною ситуацією системи. Напір конструкції насоса - це сума статичного напору, напору тертя та різниці між мінімальною подачею та тиском подачі. З появою комп'ютеризованих рішень для моделювання води проточні системи, що здійснюють гідравлічний аналіз у складних мережах водопостачання та розподілу, що складаються з декількох гілок, шлейфів, клапанів, резервуарів та насосів, було спрощено з програмним забезпеченням, таким як PipeFlow, EPANET та KYPipe, тощо. Для допомоги в аналізі було винайдено кілька методів вирішення рівнянь, таких як MATLAB, Scilab, Python та багато інших. Включення приводів насосів, таких як приводи змінної частоти, VFD (частотні перетворювачі), стають популярною в насосній електроніці. VFD регулюють швидкість двигуна, що приводить в рух насос, змінюючи частоту подачі живлення на двигуні. Швидкість прямо пропорційна частоті живлення. VFD легко інтегрувати в програмне забезпечення управління насосом або в систему SCADA. Такий варіант дозволяє керувати насосом для ефективної подачі води під необхідним тиском або напором відповідно до потреб.

### **3.3 Методи організації моніторингу системи**

Ви не можете керувати тим, за чим не стежите - це стара приказка управління. Для підтримки якості системи водопостачання по всій мережі водопостачання, повинна бути створена програма моніторингу. Програма може бути вручну, використовуючи людську робочу силу для фізичного огляду мережі, або віддалено контролюватись через комп'ютеризовану систему зв'язку, наприклад систему нагляду та контролю даних (SCADA). SCADA - це комп'ютерна система збору та аналізу даних у режимі реального часу для моніторингу та управління обладнанням, яке займається критичними та чутливими до часу матеріалами чи подіями. Фізичний огляд



людини є стомлюючим, повільним, неточним і дорогим, а часом може не повідомити про інцидент. З іншого боку, комп'ютерний дистанційний моніторинг системи водопостачання є найбільш ефективним способом, особливо у великих польових мережах. З віддаленого місця оператор може контролювати продуктивність всієї мережі живлення та, якщо потрібно, керувати польовими пристроями, такими як регулюючі клапани та насоси. Оператор може відображати і записувати журнали даних з датчиків, розгорнутих по мережі, вимірюючи такі параметри, як температура, тиск, рівень резервуару та витрата води. Ці журнали можуть допомогти передбачити аномалії системи, такі як витіки або вибухи води, деградація обладнання або несправності, а також відстежувати ефективність роботи системи та забезпечити розподіл ресурсів на необхідні ділянки. У межах системи зв'язку може бути додано візуальне відображення поля за допомогою телевізійних систем із замкнутим контуром, встановлених у певних точках мережі. У таких місцях, як Каліфорнія, законодавством потрібно контролювати тиск у розподільній системі як мінімальний стандарт для проектування та будівництва. Звіти опитування повинні містити щонайменше 24 години безперервних погодинних даних з двох репрезентативних точок у кожній зоні тиску. Система SCADA - це тип промислової системи управління (ICS), що використовується для управління колекцією польового обладнання та надання оператору у віддаленому місці достатньою інформацією для визначення стану певного обладнання або всієї мережі та спричинення дій для відбуваються щодо обладнання чи мережі. SCADA має застосування у розподілі води та очищенні та очищенні стічних вод, нафтогазових трубопроводах, системах вироблення та розподілення та транспортування електроенергії. Система SCADA, як показано на рис. 3.7, складається з польових приладів, програмованих логічних контролерів (PLC) або віддалених телеметричних блоків (RTU), мереж зв'язку та хост-програмного забезпечення SCADA. Зазвичай зв'язок між RTU / PLC та

польовими інструментами здійснюється за допомогою дротового з'єднання 2-провідного 4-20 мА або часом 4-провідного контуру струму 0-20 мА. На малюнку 4, однак, зображено бездротовий зв'язок даних між PLC / RTU та польовими інструментами, який використовується рідко.

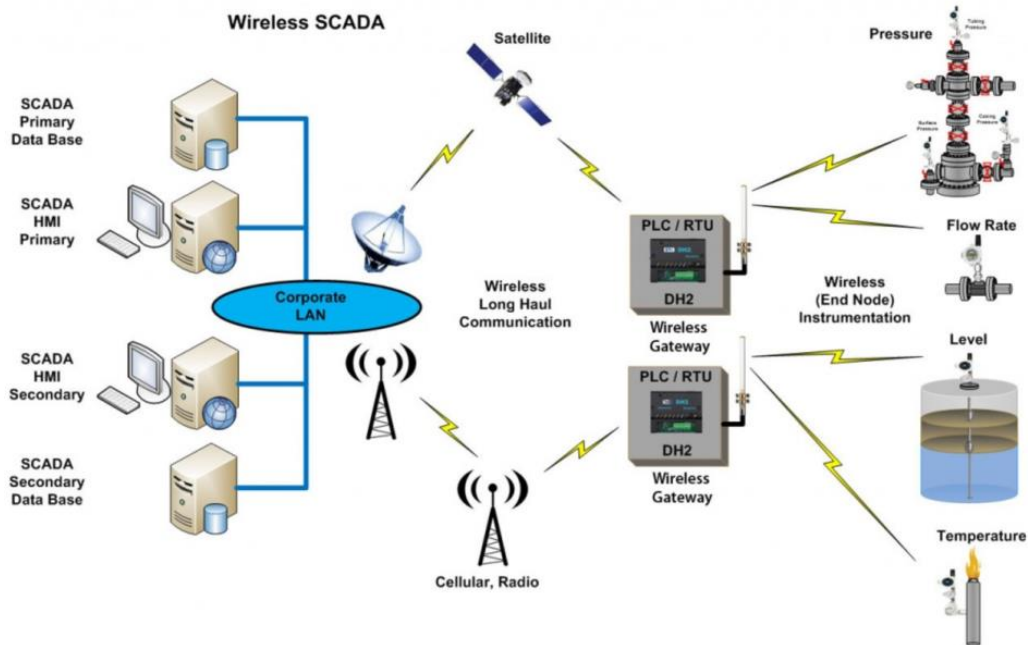


Рисунок 3.7 – Типова Склада система для реалізації моніторингу водопостачання

Ще один рідкісний випадок зв'язку між RTU / PLC та польовими інструментами - Profibus. Отже, належна апаратура є ключовою для безпечної, надійної та оптимізованої системи управління. Більшість польових приладів, таких як клапани, оснащені приводами, що дозволяють керувати PLC або RTU. Ці інструменти повинні відповідати нормативним вимогам галузі. Інструмент повинен бути розроблений для конкретного місця, щоб мінімізувати шкоду для нього та ризикувати надійність та безпеку мережі. Спосіб зв'язку між польовими інструментами, PLC або RTU та хостом SCADA визначається відповідно до середовища між точками. Це може бути через мідний кабель, волоконно-оптичний кабель, GSM / стільниковий телефон, телефонні лінії, супутникові або радіоканали / бездротові

### 3.4 Виявлення витоків

Правильно розроблена та обслуговувана система водопостачання може працювати безкінечно без витоків. Протікання можуть виникати через корозію, раптові зміни тиску, слабкі місця в муфтах або стиках, рухи землі або саботаж. Виявлення, місцезнаходження та усунення витоків є надзвичайно важливими, особливо у довгих складних мережах водопостачання. Система виявлення витoku повинна бути надійною, чутливою, безпечною, точною та надійною. Протягом багатьох років було розроблено декілька методів виявлення витоків, і їх можна широко класифікувати рис. 3.8.

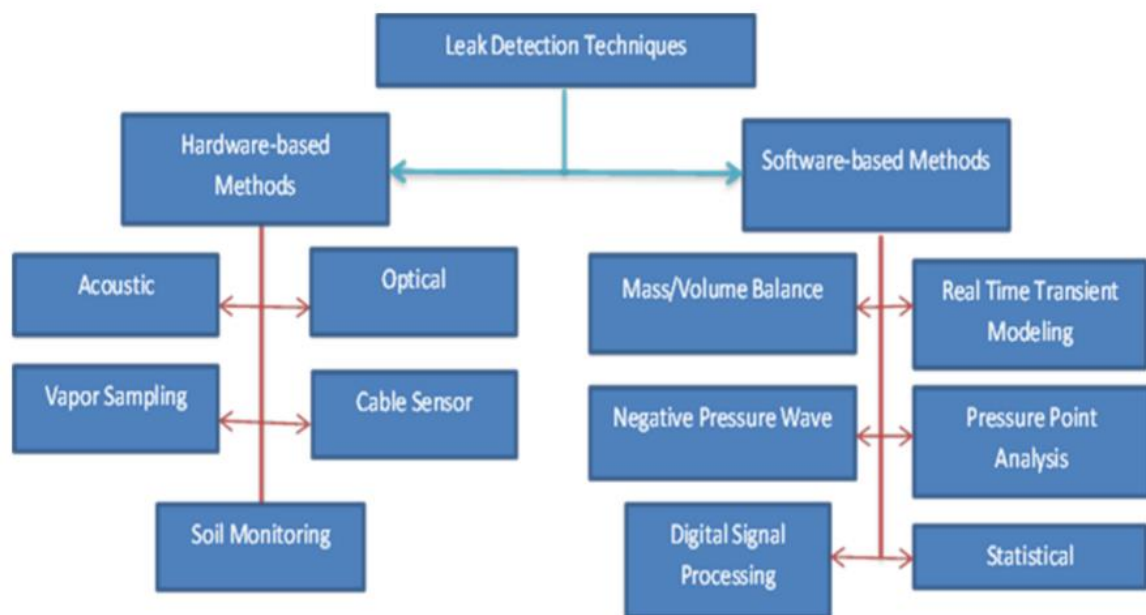


Рисунок 3.8 – Класифікація витоків.

Методи виявлення біологічних витоків передбачають використання досвідченого персоналу та собак для виявлення витоків за допомогою візуального огляду, звуку та запаху. Цей метод може застосовуватися лише в коротких трубопроводах або сегментах трубопроводів. Апаратні методи - це

найпоширеніші методи, що застосовуються. Кілька різних пристроїв, таких як теплові інфрачервоні камери, акустичні датчики та радари, використовуються для виявлення та виявлення витоків у трубопроводі. Однак ці методи обмежують виявлення менших витоків та дальність виявлення. Програмні методи аналізують такі характеристики рідини, як тиск, температура, витрата та інші дані в трубопроводі через систему SCADA. Наприклад, виявлення зміни потоку / тиску, баланс маси / об'єму, динамічна система на основі моделі та аналізу точок тиску - це частина комп'ютерних систем рішення для виявлення витоків. Тривога зазвичай генерується, коли вимірюваний параметр рідини перевищує допустимий допуск, встановлений в програмному забезпеченні SCADA. Вибір системи виявлення витоків повинен здійснюватися завжди, враховуючи вимоги, що пред'являються до програми, такі як бажані результати, вартість встановлення, експлуатації, обслуговування та обслуговування системи виявлення витоків та умови встановлення. На практиці ці методи можна комбінувати для підвищення точності системи. Виявлення витоків за допомогою зміни потоку та тиску в трубопроводі почалося на початку 1940-х років. Витік призводить до зниження тиску на вході, а вхідний потік збільшується одночасно. Щоб уникнути появи помилкових сигналів тривоги та відключення роботи, пороги повинні бути встановлені досить високими. Отже, ця система може виявити лише великі витоків. Зниження тиску призводить до того, що в трубопроводі досягається новий баланс із зміненими тисками, що змінюються швидше, ніж у звичайних робочих умовах, що супроводжується тимчасовою зміною середньої швидкості рідини. Статистичні методи та методи цифрової обробки сигналів використовуються системою для виявлення структури змін тиску та / або потоку (об'ємного балансу), які вказують на витік у лінії. Використання аналізу балансу об'єму може покращити час виявлення витоків. Застосування статистичних методів разом із найсучаснішою технологією обробки сигналів

призводить до швидкого виявлення витоків навіть на великих відстанях. Система виявлення витoku за обсягом може бути пов'язана із системою SCADA, яка приймає витрати води, що надходить і виходить з трубопроводу. Ці значення після поправки порівнюються зі стандартними умовами, використовуючи отримані значення SCADA для вимірювачів тиску та температури з інтервалами, встановленими в SCADA. Витік буде ідентифікований просто як різниця між витратою на вході та витратою на виході, як показано у рівнянні:

$$\Delta Q = Q_{in} - Q_{out} \quad (3.8)$$

Варіант цього методу використовує порівняння відкоригованих виправлених інтегральних витрат (обсягів), що входили та виходили з трубопроводу за різні часові періоди. Дані аналізуються через рівні проміжки часу, як правило періоди в п'ять хвилин, одну годину або один день. Такий підхід забезпечує швидку реакцію на великі витoki і має потенціал для виявлення корозійних витоків, оскільки вхідні та вихідні потоки інтегрованого потоку будуть постійно розходитися, якщо швидкість потоку лінії буде постійною. Це можна представити рівнянням :

$$\Delta V = V_{in} - V_{out} \quad (3.9)$$

При виявленні аномалії в системі система SCADA автоматично закриє регулюючі клапани, які впливають на витік, щоб запобігти подальшій втраті.

### 3.5 загальна структура СКАДА системи

Усі аспекти подачі води з насосної станції контролюються вручну. Воротні клапани встановлюються в декількох точках мережі для ізоляції та контролю потоку води в трубопроводі. Ці затворні клапани працюють вручну, щоб направити потік води до потрібного місця.

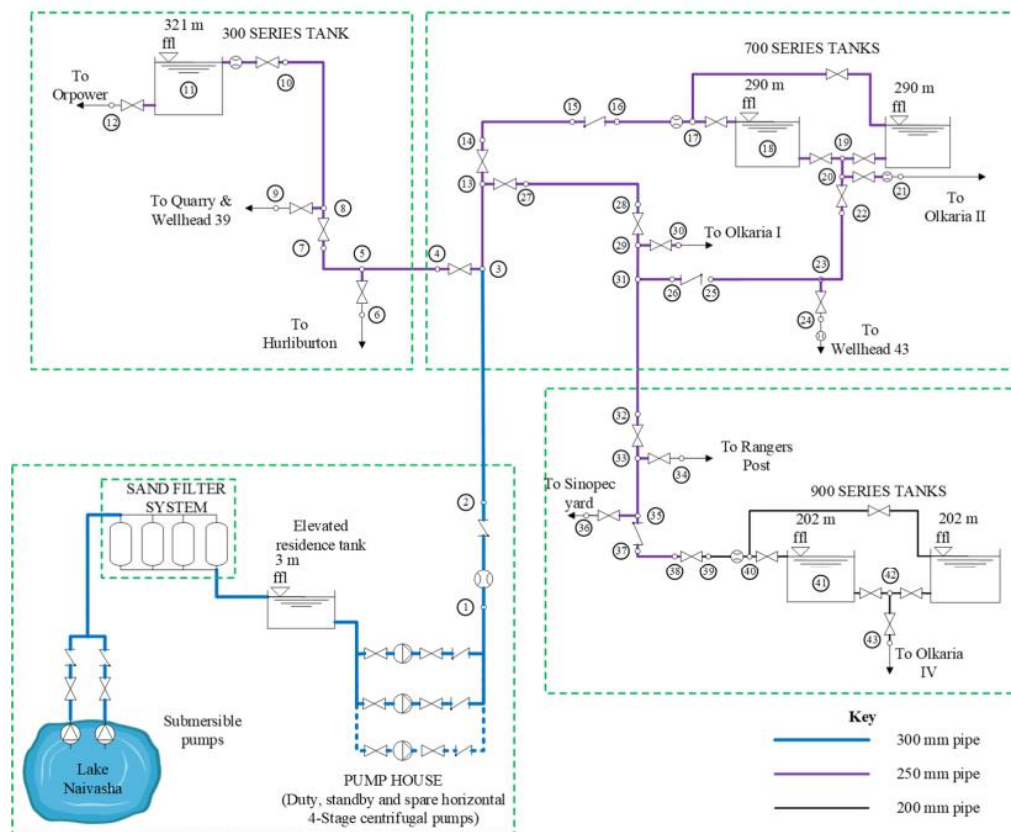


Рисунок 3.9 – Приклад схеми насосної станції

При цьому три сценарії контролю потоку застосовуються під час подачі води до трьох місць резервуара:

- Частково відкриваються клапани 4, 14, 27, 30, 33 і повністю відкриваються всі інші клапани, регульовані таким чином, щоб забезпечити подачу в усі резервуари;
- повністю закриваючі клапани 14 і 27 і повністю відкриваючий клапан 4, щоб забезпечити подачу води до резервуарів серії 300;

- Повністю закриваючий клапан 4, повністю відкриваючий клапан 14, частково відкриваючі клапани 27 і 33, щоб забезпечити подачу води до резервуарів серії 700 та резервуарів серії 900.

У всіх вищезазначених сценаріях експлуатації водопостачання оператори повинні обходити перевірку потоку води та збирати дані та записувати чи повідомляти про аномалії. Деякі частини трубопроводу закопані або розташовані в недоступних заростях, що ускладнює повний моніторинг стану трубопроводу. Ручна робота насосної системи була неефективною і вимагає великих ресурсів, людських можливостей та обладнання. Аномалії не виявляються вчасно, що призводить до втрат або пошкодження трубопроводу та навколишнього середовища. Отже, ці проблеми вимагають оцінки продуктивності системи та перероблення, якщо це необхідно для автоматизації процесів перекачування від абстракції до постачання, розподілу, технічного обслуговування, обліку та виставлення рахунків. Усі три сценарії були випробувані за допомогою EES для визначення втрат голови через тертя по трубі та втрат, що відносяться до трубопроводу, встановленого в трубопровідній мережі.

Джерело живлення Щоб знизити початкові витрати на насос та підвищити надійність та ефективність роботи насосів, можна запровадити насосну систему з регулюванням швидкості, що використовує приводи змінної частоти (VFD). Бустерні насоси запускаються за допомогою системи м'якого пуску для захисту двигуна від електричних напруг під час запуску, тим самим збільшуючи термін експлуатації двигуна. Використання систем VFD та плавного пуску вимагає надійного електропостачання. З цієї причини слід встановити резервний генератор, щоб забрати навантаження у разі відключення електропостачання. Якість постачання електроенергії слід постійно контролювати та передавати в центральний пульти управління для ведення лісозаготівлі та звітності. Польові вимірювальні пристрої, передавачі потоку, передавачі тиску та телеметричні блоки (ПЛК та / або RTU) повинні

живитись за допомогою сонячних систем живлення з резервним запасом акумулятора. Безпека Для підвищення безпеки обладнання та персоналу на насосній станції камери відеоспостереження повинні бути встановлені в критичних місцях. Зображення будуть передані до центрального відділу управління та охорони для перегляду та зберігання. Подібне обладнання для відеоспостереження повинно бути розміщене в місцях резервуарів для контролю панелей управління та критичного обладнання на майданчиках. Далі слід запровадити автоматичне перемикання систем охоронного освітлення за допомогою фотоелементів та / або ПЛК на всіх критичних установках. Водопровід а. Регулюючі клапани.

З аналізу потоку рідини встановлено, що клапани 4, 14, 27, 30 і 33 повинні змінюватись, щоб забезпечити подачу води в резервуари. Ці клапани повинні контролюватися та контролюватися таким чином, як це визначено у сценаріях 1, 2 та 3 роботи насосної системи.

Тому регулюючі клапани з моторними двигунами слід встановлювати на вузлах 4, 14, 27, 30 та 33. Ці клапани повинні контролюватися потоком, виходячи з ситуації, що потребує подачі води в резервуари.

Клапани контролюватимуть витрату води, щоб уникнути вакууму, який утворюється в магістралі під час відкачування, і їх слід працювати повільно, щоб відкривати та закривати, щоб мінімізувати сплески у водопроводі. На входах в резервуар моторизовані регулюючі клапани повинні бути встановлені в вузлах 10, 17 і 40 для контролю надходження води в резервуари. Ці клапани будуть контролюватися рівнем води в резервуарах. Передавач рівня посилає сигнал до контролера рівня, щоб мінливо закривати клапани, коли резервуар наповнений, щоб уникнути переливу та відкритись, коли рівень низький. Сигналізація надсилається до диспетчерської служби, щоб попередити операторів про рівень резервуару.

Щоб контролювати витік з резервуарів та уникати попадання повітря у трубопровід, коли рівень води низький, клапани, що рухаються та



вимикаються двигуном, слід встановлювати у вузлах 12, 19 та 42. Клапани включення / вимикання повинні контролюватися тиском, щоб що коли тиск в баках опускається нижче критичного рівня, перемикач тиску посилає сигнал на регулятор тиску, щоб закрити клапан, поки тиск не нормалізується. Потім тривожна система буде надсилатися до центрального пульта, де відображається критично низький рівень води в резервуарах. б. Індикатори витрати, передавачі та виявлення витоків. Всього 38 трубопроводників повинні бути встановлені вздовж трубопроводу, від впускної станції до трьох місць резервуара. З них 23 передавача потоку турбіни повинні бути встановлені уздовж основної лінії для контролю потоку та виявлення витоків. Вони повинні розташовуватися на відстані кілометра один від одного. Дванадцять отворів, що вказують на передавачі потоку, повинні бути встановлені на всіх виходах з магістралі та резервуарів резервуара. Три ключові передавачі, що вказують на магнітний потік, повинні бути встановлені в ключових точках водопроводу, тобто на виході насоса, після вузла 4 до резервуару серії 300 і після вузла 3, що веде до резервуарів серії 700 і 900.

Витік призводить до зниження тиску на вході, а вхідний потік збільшується одночасно. Тому вздовж трубопроводу буде встановлено кілька передавачів потоку та тиску для вимірювання та передачі швидкості потоку води, об'єму та тиску. Ці дані забезпечать введення в реальному часі для аналізу контролю для виявлення витоків. Детектори іноді використовуються для автоматичного закриття лінійних клапанів. На рисунку 16 показані запропоновані трубопроводи системи водопостачання та схема приладів (P&ID).

## 4 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

Для забезпечення продуктивності системи водопостачання розглянемо роботу приводу для станції накачування.

Метою нашого дослідження є на підставі порівняльного аналізу показати, що синтезований алгоритм векторного управління забезпечує високі показники якості відробітку заданих траєкторій потокозчеплення-швидкості, не поступаються рішенням, одержаним із застосуванням замкнутих спостерігачів магнітного потоку повного порядку. Для цієї мети дослідження одержаного алгоритму векторного управління виконане в три етапи.

Перша серія тестів проведена для демонстрації показників якості синтезованого і стандартного алгоритмів векторного управління за відсутності варіацій активного опору ротора. Друга серія тестів виконана для порівняння поведінки алгоритмів векторного управління за наявності варіацій активного опору ротора.

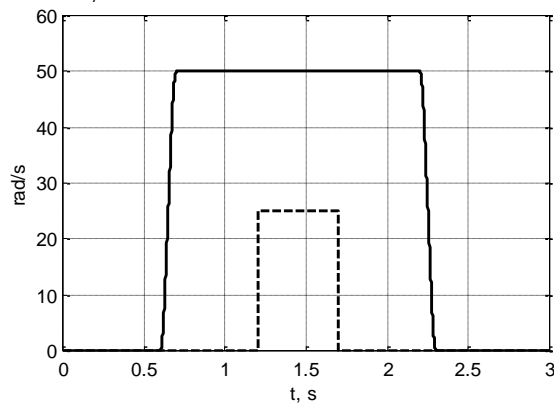
Третя серія тестів представлена для порівняння показників якості двох алгоритмів управління: з використанням замкнутого спостерігача зниженого і повного порядку за наявності варіацій  $R_2$ .

При дослідженні використовувалися параметри АД потужністю 750 Вт, що входить до складу експериментальної установки, з метою подальшого порівняння отриманих результатів з результатами експериментального тестування.

#### 4.1. Послідовність операцій управління

Алгоритми векторного управління досліджувалися при одних і тих же настройках регуляторів струму, кутової швидкості і потокозчеплення: коефіцієнти пропорційної і інтегральної складових регулятора швидкості  $k_{\omega} = 150$   $k_{\omega i} = 11250$ ; коефіцієнти пропорційного і інтегрального регуляторів струму, що становлять  $k_i = 700$  ,  $k_{ii} = 122000$  , коефіцієнти пропорційного і інтегрального регуляторів потоку, що становлять  $k_{\psi} = 100$   $k_{\psi i} = 5000$  . Що коректує коефіцієнт підсистеми потоку прийнятий рівним  $\gamma_1\beta = 3.5$  .

Задана швидкість і профіль моменту навантаження



Заданий потік, Вб

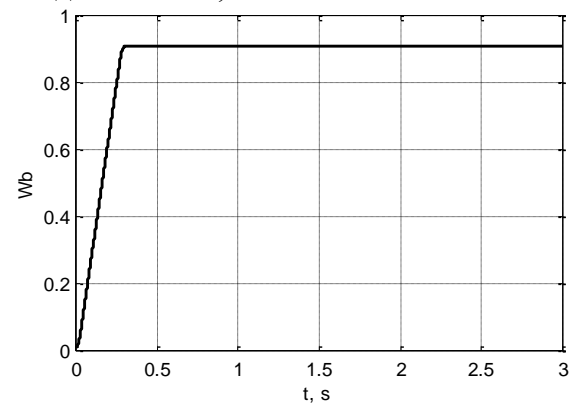


Рисунок 4.1. - Задані траєкторії кутової швидкості і потоку, профіль моменту навантаження

При дослідженні використовувалася наступна послідовність операцій управління:

під час початкового інтервалу часу  $0 \div 0.25$ с машина збуджується, траєкторія заданого потоку починається з  $\psi^*(0) = 0.02$  Вб і досягає номінального значення 0.9 Вб з першою і другою похідними, рівними 3.52 Вб/с і 50 Вб/с<sup>2</sup> відповідно;

починаючи з  $t = 0.6$  з двигун без навантаження розгониться по заданій траєкторії швидкості, яка має нульове початкове значення і досягає  $50 \text{ рад/с}$  з першою і другою похідними, рівними  $714 \text{ рад/с}^2$  і  $23810 \text{ рад/с}^3$  відповідно;

у момент часу  $t = 1.2$  з прикладається, а у момент часу  $t = 1.7\text{с}$  знімається постійний номінальний момент навантаження.

у момент часу  $t = 2.2$  з двигун починає гальмування до нульової швидкості з першою і другою похідними, рівними  $-714 \text{ рад/с}^2$  і  $-23810 \text{ рад/с}^3$  відповідно.

Початкові умови для потокозчеплень встановлені на рівні  $\hat{\psi}(0) = \psi^*(0) = 0.02 \text{ Вб}$ .

Задана траєкторія швидкості сформована таким чином, що при її відробітку динамічний момент відповідає номінальному моменту АД.

#### **4.2. Дослідження алгоритмів векторного управління за відсутності параметричних збурень**

Перший тест вироблений для демонстрації поведінки змінних грубого алгоритму векторного управління, коли всі параметри машини точно відомі. Результати моделювання представлені на рис. 4.2.

Після завершення перехідних процесів пов'язаних із збудженням АД, задані траєкторії швидкості відпрацьовуються без помилок, і лише в моменти докладення і зняття моменту навантаження виникає короткочасна помилка відробітку заданої траєкторії швидкості величиною  $3.5 \text{ рад/с}$ , рис. 2.9а. При цьому для відробітку номінального моменту навантаження потрібен струм  $i_q$  рівний  $2 \text{ А}$ .

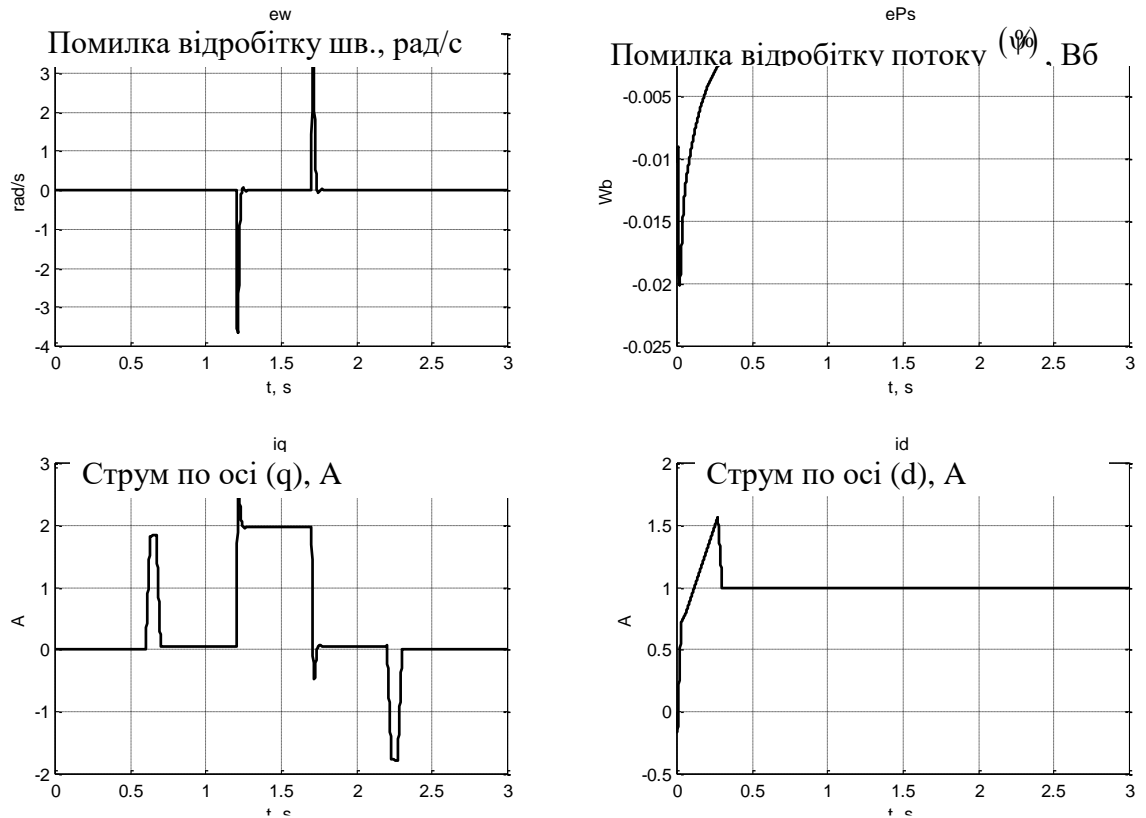


Рисунок 4.2. Графік перехідних процесів грубого алгоритму векторного управління за відсутності варіацій  $R_2$

Порівняння якості відробітку траєкторій кутової швидкості-потокозчеплення проводитимемо по перехідних процесах відробітку кутової швидкості, струмів статора і помилки відробітку потокозчеплення ротора.

На рис. 2.10. представлені помилки відробітку траєкторій кутової швидкості і модуля потокозчеплення, струми статора в оберտальній системі координат (d-q), при роботі стандартного алгоритму векторного управління. Очевидно, що якість відробітку заданої траєкторії швидкості стандартним алгоритмом нижча, помилка відробітку траєкторії швидкості складає 2 рад/с, тоді як при роботі грубого алгоритму векторного управління помилка відробітку швидкості при розгоні нульова.

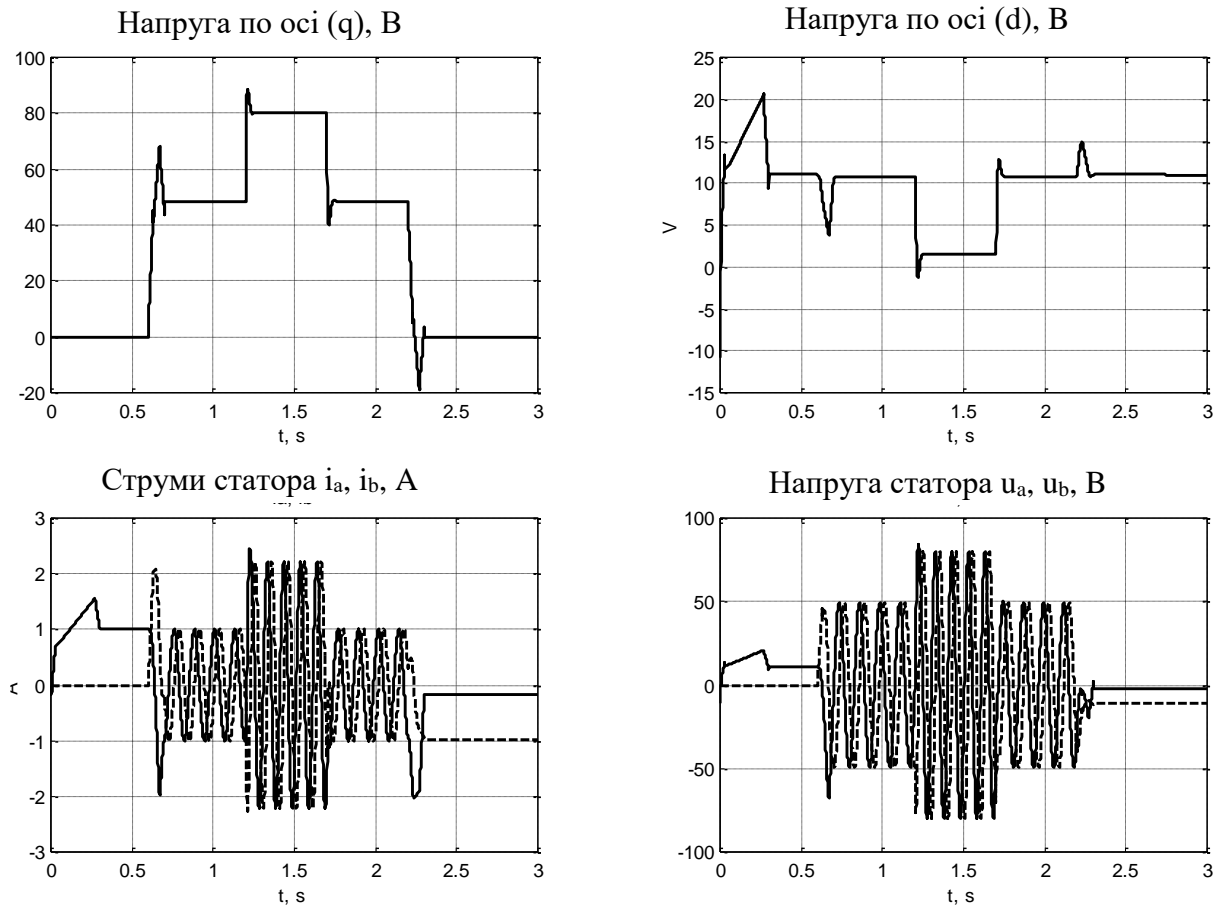


Рисунок 4.3. – Графік перехідних процесів грубого алгоритму векторного управління за відсутності варіацій параметрів

На рис. 4.3 представлені графіки напруг в системі координат (d-q), що обертається, а також напруги і струми статора в стаціонарній системі координат (a-b).

На рис. 4.4 показані: момент, що розвивається асинхронним двигуном в процесі відробітку заданої траєкторії швидкості, модуль споживаного струму, споживана активна потужність, і втрати активної потужності, розраховані по формулах:

$$P_a = \frac{3}{2}(i_a u_a + i_b u_b) \quad (4.1)$$

$$\Delta P = \frac{3}{2}(R_1 I_1^2 + R_2 I_2^2) \quad (4.2)$$

де  $I_1$  і  $I_2$  - модулі струмів статора і ротора.

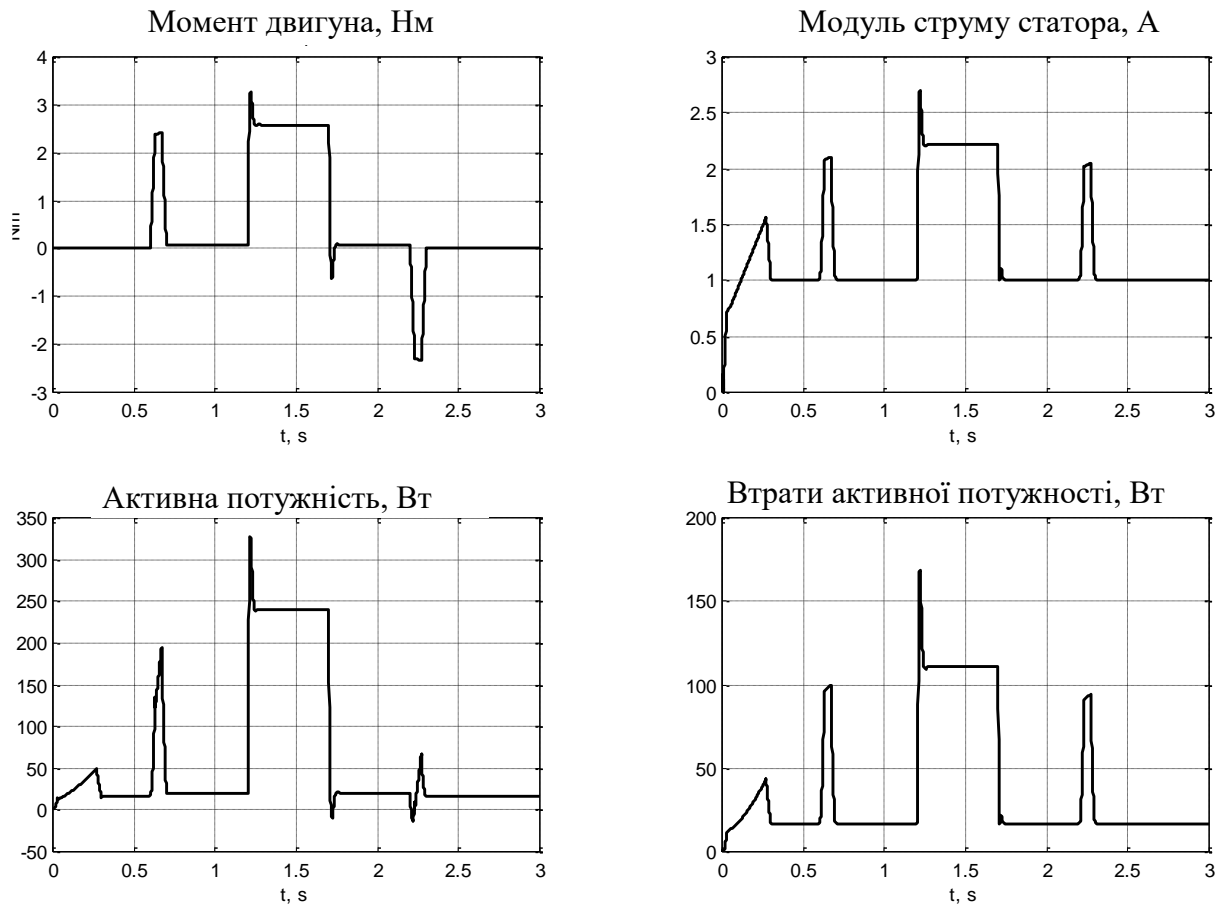


Рисунок 4.4 - Графік перехідних процесів грубого алгоритму векторного управління за відсутності варіацій параметрів

При компенсації постійного номінального моменту навантаження обидва алгоритми забезпечують однакову якість регулювання швидкості.

На підставі отриманих результатів відзначимо, що при точно відомих параметрах АД, асимптотичність відробітку і оцінювання потокозчеплення не порушується. Компенсація постійного моменту навантаження відбувається однаково і вимагає одного і того ж значення моментного струму на рівні 2 А.

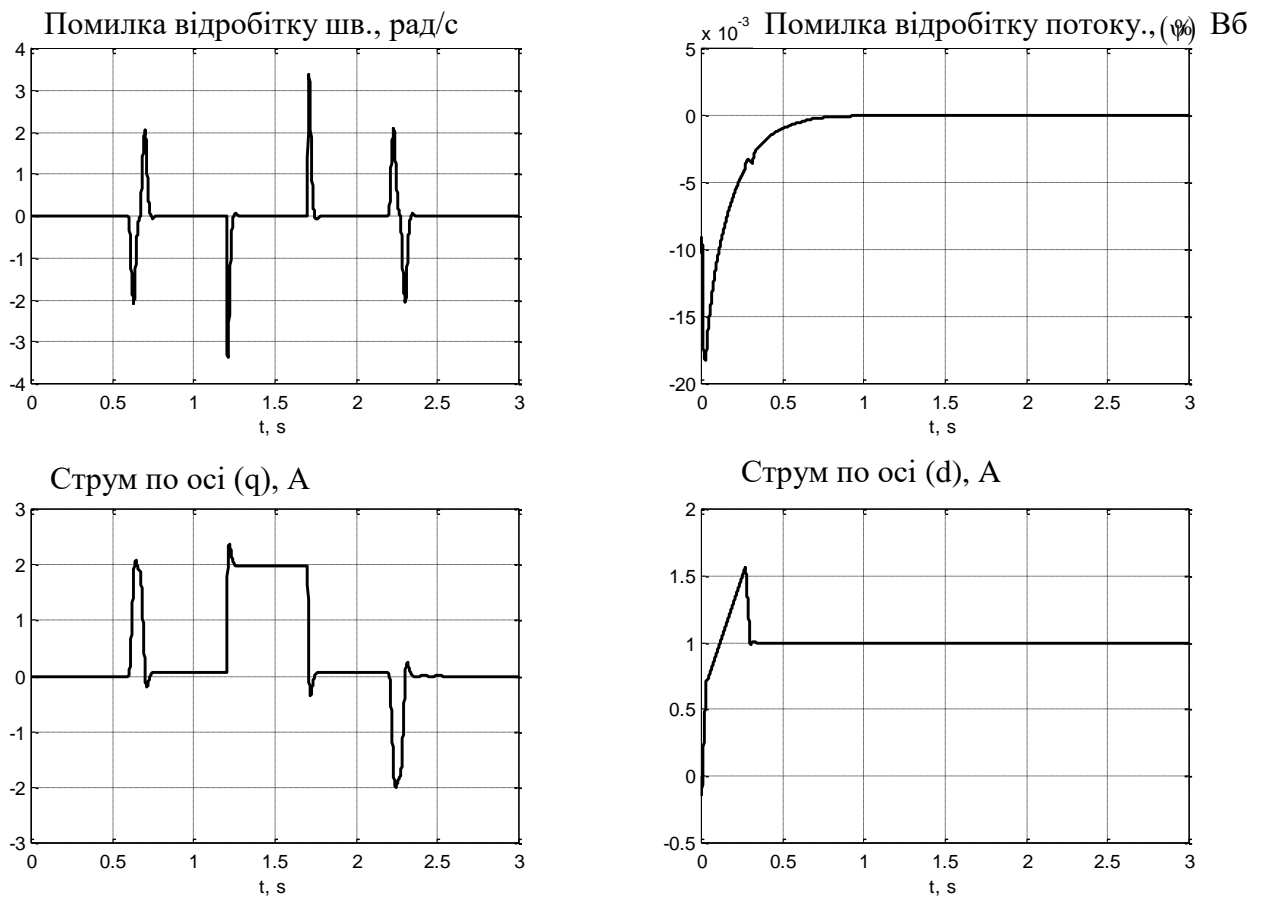


Рис. 4.5. Перехідні процеси стандартного алгоритму векторного управління за відсутності варіацій параметрів



## 5. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

### 5.1 Опис програмного забезпечення для розробки мнемосхеми

Професійна розробка систем промислової автоматизації нерозривно пов'язана з CoDeSys (Controller Development System). Основним призначенням комплексу CoDeSys є розробка прикладних програм мовами стандарту IEC 61131-3.

Комплекс складається з двох основних частин: середовища програмування CoDeSys і системи виконання CoDeSys SP. CoDeSys працює на комп'ютері і застосовується при підготовці програм. Програми компілюються в швидкий машинний код і завантажуються в контролер. CoDeSys SP працює в контролері, він забезпечує завантаження і налагодження коду, обслуговування введення/виводу та інші сервісні функції.

Більше 250 визнаних компаній виготовляють обладнання за допомогою CoDeSys. З ним щодня працюють тисячі людей, що вирішують завдання промислової автоматизації.

Розробка прикладного програмного забезпечення для ПЛК110, як і безлічі інших контролерів, проводиться на персональному комп'ютері в середовищі CoDeSys під управлінням Microsoft Windows. Генератор коду безпосередньо компілює програму користувача в машинні коди, що забезпечує найвищу швидкодію контролера. Система виконання і налагодження, генератор коду і бібліотеки функціональних блоків спеціально адаптовані на архітектуру контролерів серії ПЛК. Засоби налагодження включають перегляд і редагування входів-виходів та змінних, виконання програми за циклами, контроль виконання алгоритму програми в графічному

поданні, графічне трасування значень змінних за часом і по подіях, графічну візуалізацію і імітацію технологічного обладнання.

Головне вікно CoDeSys складається з таких елементів (у вікні вони розташовані зверху вниз):

- 1) Меню.
- 2) Панель інструментів. На ній знаходяться кнопки для швидкого виклику команд меню.
- 3) Організатор об'єктів, що має вкладки POU, Типи даних (Data types), візуалізації (Visualizations) і Ресурси (Resources).
- 4) Роздільник Організатора об'єктів і робочої області CoDeSys.
- 5) Робоча область, в якій знаходиться редактор.
- 6) Вікно повідомлень.
- 7) Рядок статусу, що містить інформацію про поточний стан проекту.

Панель інструментів, вікно повідомлень і рядок статусу не є обов'язковими елементами головного вікна.

Меню знаходиться у верхній частині головного вікна. Воно містить всі команди CoDeSys. Зовнішній вигляд вікна зображений на рис. 5.1:

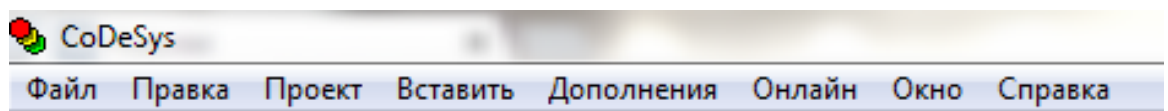


Рисунок 5.1 – Зовнішній вигляд вікна

Кнопки на панелі інструментів забезпечують більш швидкий доступ до команд меню.

Викликана за допомогою кнопки на панелі інструментів команда автоматично виконується в активному вікні.

Команда виконається, як тільки натиснута на панелі інструментів кнопка буде відпущена. Якщо ви помістите вказівник мишки на кнопку панелі інструментів, то через невеликий проміжок часу побачите назву цієї кнопки в підказці.

Кнопки на панелі інструментів різні для різних редакторів CoDeSys. Отримати інформацію щодо призначення цих кнопок можна в описі редакторів.

Панель інструментів можна відключити, рис. 5.2:



Рисунок 5.6 – Панель інструментів

Загальний вигляд вікна програми CoDeSys зображено на рис. 5.3:

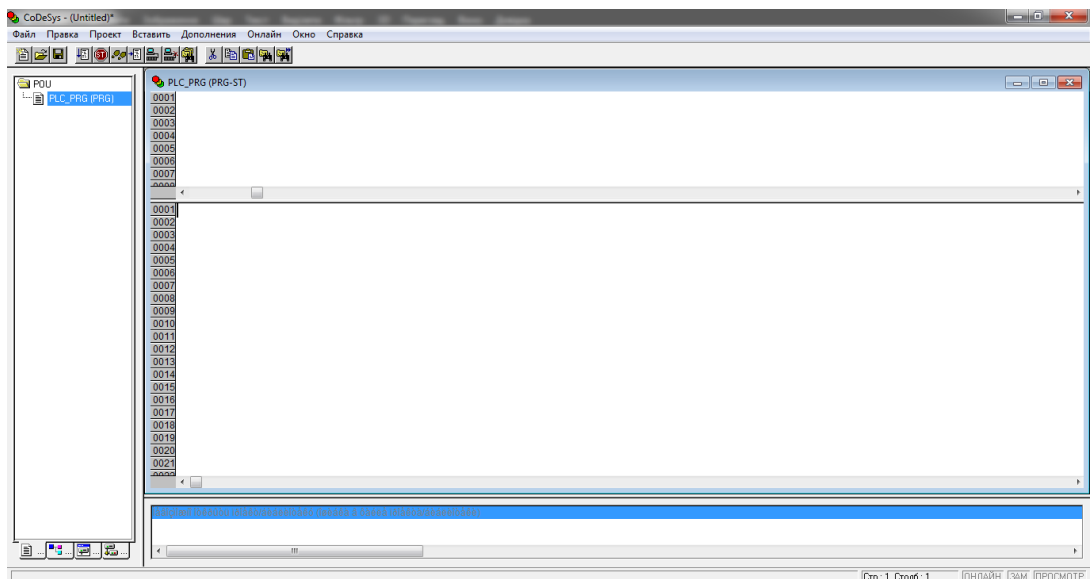


Рисунок 5.3 – Вікно програми CoDeSys

Після включення мікроконтролера в нього завантажується програма, відбувається ініціалізація змінних, читання входів і опитування модулів. Також є вибір перемикачів між автоматичним і ручним режимом. У ручному

режимі є можливість управління клапаном і управління МЕОФ. Потім відбувається запис вихідних даних і формування посилок за послідовними інтерфейсами. Після чого алгоритм зациклюється на читання входів або відбувається закінчення роботи.

## **5.2 Розробка програми керування та інтерфейсу візуального відображення вимірювальної інформації**

Для налагодження зв'язку із контролером, було розроблено програму у середовищі CoDeSys (див. Додаток А).

Для розробки інтерфейсу візуального відображення була обрана програма Trace Mode 6, тому що вона володіє всіма потрібними нам функціями і характеристиками:

- має досить широкий спектр можливостей для імітації технологічних процесів на графічному екрані;
- доступні всі стандартні мови програмування для scada-систем, контролерів;
- дружній графічний інтерфейс;
- досить просте підключення до програмованого логічного контролера;
- доступна повна версія даної системи на сайті виробника.

Trace Mode 6 призначена для автоматизації промислових підприємств, енергетичних об'єктів, інтелектуальних будівель, об'єктів транспорту, систем енергообліку і т.д.

Масштаб систем автоматизації, що створюються в Trace Mode, може бути будь-яким – від автономно працюючих керуючих контролерів і робочих місць операторів, до територіально розподілених систем управління, що включають десятки контролерів, які обмінюються даними з використанням різних комунікацій - локальна мережа, Інтернет/Інтранет, послідовні шини на

основі RS-232/485, виділені і комутовані телефонні лінії, радіоканал і GSM-мережі.

Інтегроване середовище розробки проекту в програмі Trace Mode показана на рис. 5.4:



Рисунок 5.4 – Інтегроване середовище розробки Trace Mode 6

Навігатор проекту дозволяє здійснювати швидкий перехід між підпунктами проекту. При наведенні курсору на один з пунктів з'являється коментар, який дозволяє зрозуміти вміст.

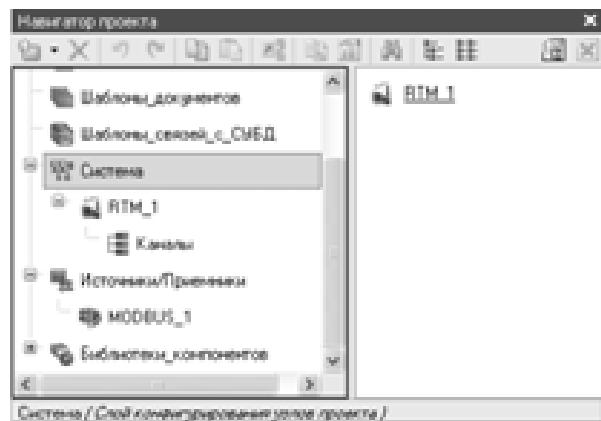


Рисунок 5.5 – Навігатор проекту

## 6. ОБГРУНТУВАННЯ-ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

### 6.1. Розрахунок норм часу на виконання науково-дослідної роботи

Реалізація проекту інформаційної системи управління доступом з використанням інформаційних технологій розпізнавання образів складається з низки послідовних та взаємопов'язаних етапів.

Норми часу на виконання науково-дослідницької роботи розраховуватимуться на основі середнього часу виконання стадії в годинах, що наведені в таблиці 5.1 разом із інформацією про виконавців і сумарною кількості затраченого часу.

Таблиця 6.1

Операції технологічного процесу та їх час виконання

№ п/п	Назва операції (стадії)	Виконавець	Середній час виконання операції, год.
1	Підготовча стадія	Проектний менеджер	10
		Інженер-програміст	
2	Технічна пропозиція	Проектний менеджер	10
		Інженер-програміст	
3	Створення технічного завдання	Проектний менеджер	20
		Інженер-програміст	
4	Проектування системи	Інженер-програміст	200
5	Практична реалізація	Інженер-програміст	200
6	Тестування системи	Тестувальник	20
7	Верифікація системи	Тестувальник	20
		Інженер-програміст	
		Проектний менеджер	
8	Створення документації	Інженер-програміст	50
9	Заключна стадія	Проектний менеджер	20
Разом			650

Кожен із етапів реалізації проекту характеризується метою та змістом, оцінкою часу виконання, кількістю та спеціалізацією виконавців, а також приблизною оцінкою вартості.

Реалізація інформаційної системи управління безпекою об'єкту складається із підготовчого етапу, етапу технічної пропозиції, створення технічного завдання, проектування системи, практичної реалізації, тестування, верифікації та заключного етапу.

В підсумку на реалізацію проекту інформаційної системи управління доступом з використанням інформаційних технологій розпізнавання образів необхідно 650 людино-годин, залучення трьох спеціалістів та виконання дев'яти різноманітних стадій реалізації проекту.

## **6.2 Визначення витрат на оплату праці та відрахувань на соціальні заходи**

Визначення витрат на оплату праці та відрахувань на соціальні заходи прямо залежить від кількості витраченого працівниками часу на роботу, ставки в годину чи місяць, кількість відрахувань на соціальні заходи встановлених в законному порядку на час розрахунку.

В результаті розрахунку потрібно визначити основну та додаткову заробітну плату, витрати на соціальні заходи та на основі цих даних визначити сумарні витрати на оплату праці.

Основна заробітна плата нараховується за виконану роботу за тарифними ставками, відрядними розцінками чи посадовими окладами.

Додаткова заробітна плата – це складова заробітної плати працівників, до якої включають витрати на оплату праці, не пов'язані з виплатами за фактично відпрацьований час.

При розрахунку заробітної плати кількість робочих днів у місяці слід в середньому приймати – 24,5 дні/міс., або ж 196 год./міс. (тривалість робочого дня – 8 год.).

Наймані працівники для розробки інформаційної системи управління доступом з використанням інформаційних технологій розпізнавання образів працюють згідно контракту, який в якому вказано їхню погодинну ставку. Тобто розрахунок заробітної плати працівників відбуватиметься на базі тарифної ставки та кількості відпрацьованих годин.

У штаті найманих працівників для розробки інформаційної системи залучено проектного менеджера, інженера-програміста і тестувальника.

Тарифні ставки учасників процесу розробки інформаційної системи:

Проектний менеджер – 150 грн./год.

- Інженер-програміст – 130 грн./год.

- Тестувальник – 100 грн./год.

Основна заробітна плата розраховується за формулою 5.1:

$$Z_{\text{осн.}} = T_c * K_{\Gamma}, \quad (6.1)$$

де  $T_c$  – тарифна ставка, грн.;  $K_{\Gamma}$  – кількість відпрацьованих годин.

Оскільки всі види робіт в виконує три спеціаліста, то основна заробітна плата буде розраховуватись за даною формулою 6.1;

$$Z_{\text{осн.}} = 150 * 80 + 130 * 530 + 100 * 40 = 84900 \text{ грн.}$$

Додаткова заробітна плата становить 10–15 % від суми основної заробітної плати й визначається за формулою 6.2.

Коефіцієнт додаткових виплат працівникам становить 0,1.



$$Z_{\text{дод.}} = Z_{\text{осн.}} * K_{\text{допл.}} \quad (6.2)$$

де  $K_{\text{допл}}$  – коефіцієнт додаткових виплат працівникам

$$Z_{\text{дод.}} = 84900 * 0,1 = 8490 \text{ грн.}$$

Звідси загальні витрати на оплату праці (фонд заробітної плати) визначаються за формулою 6.3:

$$B_{\text{о.п.}} = Z_{\text{осн.}} + Z_{\text{дод.}} \quad (6.3)$$

$$B_{\text{о.п.}} = 84900 + 8490 = 93390 \text{ грн.}$$

З цієї суми утримуються обов'язкові відрахування на заробітну плату:

- Єдиний соціальний внесок (ЄСВ), що становить 22%%;
- Військовий збір (ВЗ), що становить 1,5%%;

Сума відрахувань становить 23,5%% від фонду оплати праці та визначається за формулою 5.4:

$$B_{\text{с.з.}} = \Phi_{\text{оп}} * 0,235 \quad (6.4)$$

де  $\Phi_{\text{оп}}$  – фонд оплати праці, грн.

$$B_{\text{с.з.}} = 93390 * 0,235 = 21946,25 \text{ грн.}$$

Усі витрати обчислюються детально наведені в таблиці 6.2 та обчислюються за формулою 6.5:

$$B_{\text{зн}} = \Phi\text{ЗП} + \Phi\text{ОП} \quad (6.5)$$

$$B_{\text{зн}} = 93390 + 21946,25 = 115336,65 \text{ грн.}$$

Таблиця 5.2 – Розрахунки витрат на оплату праці

№з/п	Категорія працівників	Основна заробітна плата, грн.			Додаткова заробітна плата, грн.	Нарахув. на ФОП, грн.	Всього витрати на плату праці, грн. (6=3+4+5)
		Тарифна ставка, грн.	Кількість відпрацьованих год.	Фактично нарах. з/пл., грн.			
А	Б	1	2	3	4	5	6
1.	Проектний менеджер	150	80	12000	525	-	-
2.	Інженер-програміст	130	530	68900	2600	-	-
3.	Тестувальник	100	40	4000	300	-	-
Разом		380	650	84900	8490	21946,25	115336,25

Опираючись на розрахунки витрат на оплату та зведену таблицю результатів 6.2 видно, що всього витрати на плату праці становлять 115336,25 грн.

### 6.3 Розрахунок матеріальних витрат

Матеріальні витрати є невід'ємною частиною розробки інформаційної та визначаються як добуток кількості витрачених матеріалів та їх ціни за формулою 6.6:

$$M_{ei} = q_i \cdot p_i, \quad (6.6)$$

де:  $q_i$  – кількість витраченого матеріалу  $i$ -го виду;  $p_i$  – ціна матеріалу  $i$ -го виду.

Звідси, загальні матеріальні витрати можна визначити за формулою 6.7:

$$Z_{м.в.} = \sum M_{ei}. \quad (6.7)$$

Результати проведених розрахунків наведено у таблиці 6.3.

Таблиця 6.3 – Результати розрахунків матеріальних витрат.

№ п/п	Найменування матеріальних ресурсів	Од. виміру	Фактично витрачено матеріалів	Ціна одиниці, грн.	Загальна сума витрат, грн.
1	CD диски	шт.	2	7,45	14,90
2	Папір для друку	листів	500	0,15	75,00
3	Чорнила для принтера	шт.	1	80,00	80,00
Всього					169,90

Згідно проведених розрахунків, матеріальні витрати становлять 169,90 грн.

#### 6.4 Розрахунок витрат на електроенергію

Однією із статей витрат є витрати на електроенергію під час проходження усіх етапів реалізації кінцевого продукту.

Затрати на електроенергію одиниці обладнання визначаються за формулою 6.8:

$$Z_e = W * T * S, \quad (5.8)$$

де  $W$  – необхідна потужність, кВт;  $T$  – кількість годин на реалізацію розробки;  $S$  – вартість кіловат-години електроенергії.

Вартість кіловат-години електроенергії слід приймати згідно існуючих на даний час тарифів. Отже, 1 кВт з ПДВ коштує 2,42 грн.

Потужність комп'ютерів для реалізації кінцевого продукту – 400 Вт, кількість годин роботи обладнання згідно таблиці 6.1 – 650 годин.

Визначимо витрати на електроенергію згідно формули 6.11:

$$Z_e = 0,4 * 650 * 2,42 = 629,20 \text{ грн.}$$

Згідно формули затрати на електроенергію становлять 629,20 грн.

### **6.5 Розрахунок суми амортизаційних відрахувань**

Для будь якої діяльності характерною є властивість зношування на зниження якості властивостей інструментарію та фондів за допомогою яких ведеться діяльність.

Для вирішення проблеми із відновленням даних фондів використовується амортизація, що являє собою процес трансформації вартості основних фондів на вартість продукції, яка щойно була створена, задля повного відновлення основних фондів.

Для визначення амортизаційних відрахувань використовується формула 6.9:

$$A = (B_B * N_A) / 100\% \quad (5.9)$$

де,  $B_B$  – балансова вартість обладнання, грн;

$N_A$  – норма амортизаційних відрахувань в рік, %%;

– річний робочий фонд часу, год;

– фактичний час роботи обладнання по написанню програми, год.

Комп'ютери та оргтехніка належать до четвертої групи основних фондів. Для цієї групи річна норма амортизації дорівнює 60 %% (квартальна – 15 %%).

Річний робочий фонд становитиме 2352 годин, так як робочий день становить 8 годин, а кількість робочих днів в місяці становить 24,5 годин.

Для даної розробки засобом розробки є комп'ютер. Його сума становить 18500 грн. Отже, амортизаційні відрахування будуть рівні:

$$A = 18500 \cdot 5\% / 100\% = 925 \text{ грн.}$$

Згідно проведених обчислень амортизаційні відрахування становлять 925 грн.

## 5.6 Обчислення накладних витрат

Накладні витрати пов'язані з обслуговуванням виробництва, утриманням апарату управління спілкою та створення необхідних умов праці.

В залежності від організаційно-правової форми діяльності господарюючого суб'єкта, накладні витрати можуть становити 20–60 %% від суми основної та додаткової заробітної плати працівників.

$$H_e = B_{o.n} * 0,2 \dots 0,6, \quad (5.10)$$

де  $H_e$  – накладні витрати.

Отже, накладні витрати становлять згідно формули 6.10:

$$H_e = 93390 * 0,2 = 18678 \text{ грн.}$$

Накладні витрати згідно розрахунку формули, становить 18678 грн.

## 5.7 Складання кошторису витрат та визначення собівартості науково-дослідницької роботи

Результати проведених вище розрахунків наведено у таблиці 6.4.

Таблиця 5.4

### Кошторис витрат на НДР

Зміст витрат	Сума, грн.	В %% до загальної суми
Витрати на оплату праці	93390	0,69
Відрахування на соціальні заходи	21946,25	0,15
Матеріальні витрати	169,9	0,01
Витрати на електроенергію	256,52	0,01
Амортизаційні відрахування	925	0,01
Накладні витрати	18678	0,13
Собівартість	135365,7	100

Собівартість ( $C_e$ ) програмного продукту розраховуємо за формулою:

$$C_e = B_{o.l.} + B_{c.z.} + Z_{m.v.} + Z_e + A + H_e . \quad (6.11)$$

Отже, собівартість розробки системи дорівнює:

$$C_e = 135365,70 \text{ грн.}$$

Загальний кошторис витрат та визначення собівартості науково-дослідницької роботи становить 135365,70 грн.

## 5.8 Розрахунок ціни розробки системи

Ціну науково-дослідної роботи можна визначити за формулою:

$$Ц = (C_B * (1 + P_{рен}) + K * B_{н.і.}) / K * (1 + ПДВ) \quad (6.12)$$

де  $P_{рен.}$  – рівень рентабельності, 30 %%;  $K$  – кількість замовлень, од. (встановлюється лише при розробці програмного продукту та мікропроцесорних систем);  $B_{н.і.}$  – вартість носія інформації, грн. (встановлюється лише при розробці програмного продукту);  $ПДВ$  – ставка податку на додану вартість, (20 %%).

Оскільки розробка є прикладною, і використовуватиметься тільки для одного підприємства, то для розрахунку ціни не потрібно вказувати коефіцієнти  $K$  та  $B_{н.і.}$ , оскільки їх в даному випадку не потрібно.

Тоді, формула для обчислення ціни розробки буде мати вигляд:

$$Ц = C_B * (1 + P_{рен}) * (1 + ПДВ) \quad (6.13)$$

Звідси ціна на роботу складе:

$$Ц = 135365,70 * (1 + 0,3) * (1 + 0,2) = 211170,49 \text{ грн.}$$

Загальний розрахунок ціни програмного продукту становить 211170,49 грн.

## 5.9 Визначення економічної ефективності і терміну окупності капітальних вкладень

Ефективність виробництва – це узагальнене і повне відображення кінцевих результатів використання робочої сили, засобів та предметів праці на підприємстві за певний проміжок часу.

Економічна ефективність ( $E_p$ ) полягає у відношенні результату виробництва до затрачених ресурсів:

$$E_p = \Pi / C_B \quad (6.14)$$

де  $\Pi$  – прибуток;  $C_B$  – собівартість.

Плановий прибуток ( $\Pi_{пл}$ ) знаходимо за формулою:

$$\Pi_{пл} = Ц - C_{\epsilon} . \quad (6.15)$$

Розраховуємо плановий прибуток:

$$\Pi_{пл} = 211170,49 - 135365,70 = 75804,79 \text{ грн.}$$

Отже, формула для визначення економічної ефективності набуде вигляду:

$$E_p = \Pi / C_B \quad (6.16)$$

Тоді,

$$E_p = 75804,79 / 135365,70 = 0,56.$$

Поряд із економічною ефективністю розраховують термін окупності капітальних вкладень ( $T_p$ ):



$$T_p = 1/E_p \quad (6.17)$$

Термін окупності дорівнює:

$$T_p = 1 / 0,56 = 1,79 \text{ р.}$$

Згідно формул плановий прибуток від розробки становить 75804,79 грн., економічна ефективність дорівнює 0,56, а термін окупності становить 1,79 року що вважається доцільним та економічно вигідним.

## **7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

### **7.1 Значення охорони праці для забезпечення безпечних умов праці**

Створення безпечних, нешкідливих і сприятливих виробничих умов праці – одне з найважливіших завдань сучасного виробництва і має не тільки інженерне, але і соціальне значення.

На сучасному етапі охорона праці являє собою систему правових, соціально-економічних, лікувально-профілактичних засобів та заходів спрямованих на забезпечення здоров'я і працездатності людини в процесі праці.

Основним принципом політики в галузі охорони праці є визнання пріоритету життя і здоров'я працівників. Виходячи з цього сформовані основні завдання в галузі охорони праці:

- розробка і впровадження високовиробничих технологій;
- підвищення рівня безпеки діючого виробничого устаткування і технологічних процесів за рахунок ліквідації небезпечних і шкідливих виробничих факторів;
- удосконалення оснащення підприємств сучасними технічними засобами безпеки і виробничої санітарії;
- впровадження стандартів (ССБП);
- здійснення навчання населення і підвищення кваліфікації працівників з охорони праці;
- зміцнення технологічної і виробничої дисциплін;
- охорона навколишнього середовища.

Техніка безпеки і заходи по охороні праці і промисловій санітарії невід'ємно пов'язані з технологією.

Зміна технологічних процесів і обладнання потребують вивчення їх з точки зору безпеки виробництва та вишукування відповідних шляхів, які усувають фактори, які приводять до нещасних випадків.

Основне завдання в тому, щоб зробити працю на підприємстві безпечною та здоровою. Виконання цього завдання може бути забезпечене шляхом комплексної механізації виробничих процесів, більш повної їх автоматизації, досконалістю технологічних процесів, переходом від техніки безпеки до безпечної техніки, а також широкого впровадження на підприємствах заходів по оздоровленню умов праці, техніки безпеки та наукової організації праці.

У повній відповідності з діючим законодавством на підприємствах розробляються правила внутрішнього розпорядку і інструкції з техніки безпеки з детальним вказівками профілактичних заходів, безпечних прийомів роботи для кожної професії і кожного виду робіт.

Контроль за дотриманням законодавства, а також за виконанням заходів по охороні праці на всіх підприємствах покладається на органи державного та громадського нагляду. Функції державного нагляду виконують технічні інспекції профспілок, Державний міський технагляд, Державна санітарна інспекція та інші.

Велику роль у створенні на підприємствах здорових та безпечних умов праці грають комісії та громадські інспектори по охороні праці. Ця комісія утворюється з числа членів профспілки – робочих, інженерно-технічних робітників і службовців та очолюється членом місцевого комітету підприємства, в цеху – членом цехового комітету.

Комісії повинні здійснювати: контроль над виконанням законодавства про працю, правил і інструкцій з техніки безпеки та промислової санітарії і над проведенням заходів по попередженню нещасних випадків на виробництві та по зниженню захворюваності

контроль організації і якості інструктування і навчання працюючих безпечним прийомом роботи, а також своєчасного постачання їх спецодягом, спеціальним взуттям і індивідуальними засобами захисту.

Комісії сприяють впровадженню у виробництво більш сучасної технології, нової техніки, автоматизації і механізації виробничих процесів з метою ліквідування тяжких ручних робіт. Компетентна постановка навчання працюючих правилам техніки безпеки та безпечним методам праці значно сприяє боротьбі з нещасними випадками на підприємствах.

На підприємствах робочі проходять відповідний інструктаж, об'єм і зміст якого та строк стажування для робочих по кожній професії встановлює головний інженер підприємства. Інструктуванням передбачаються загальні питання безпеки, які встановлені на даному підприємстві, і спеціальні питання техніки безпеки, які пов'язані з виконанням окремих видів робіт.

Всі робочі не менше одного разу на рік повинні проходити повторний інструктаж з техніки безпеки і підлягають перевірці знань комісією. При введенні нових технологічних процесів і методів праці, а також при введенні в дію нових правил і інструкцій з техніки безпеки робочі повинні пройти додаткове навчання і інструктаж.

На основі статистичного аналізу рівня травматизму встановлено, що біля 50% всіх нещасних випадків на підприємстві – це отруєння парами шкідливих речовин. На долю хімічних і термічних опіків припадає близько 25% від загальної кількості травм. Близько 12% становлять травми механічного походження. Усе решта – травми від ураження електричним струмом.

## 7.2. Системи засобів і заходів щодо електробезпеки

**Електробезпека** – це система організаційних і технічних заходів, що забезпечують захист людей від небезпечної і шкідливої дії електричного струму, електричної дуги, електромагнітного поля, статичної електрики. Вимоги електробезпеки викладено в ГОСТ 12.1.019-79 «ССБП. Електробезпека. Загальні вимоги і номенклатура видів захисту» (СТ СЭВ 4830-84). Зміни 1986.

Основними заходами захисту від ураження електричним струмом є:

- захист від дотику до струмопровідних частин;
- застосування електроенергії з безпечними величинами напруги;
- усунення небезпеки ураження людей струмом у разі появи напруги на частинах конструкцій електроустаткування;
- застосування індивідуальних захисних засобів від ураження електричним струмом.

**Недоступність струмопровідних частин** для випадкового дотику досягається ізоляцією їх струмонепровідними матеріалами. Провідники електричного струму повинні мати робочу ізоляцію. Передбачено застосування в деяких випадках *додаткової, підсиленої чи лінійної ізоляції*.

Недоступність розташування струмопровідних частин досягається *розміщенням їх на висоті, під підлогою чи приховано в стінах*. Незахищені струмопровідні частини, до яких можливий дотик людей, надійно огороджують у всіх випадках, якщо напруга перевищує:

- 65 В – в приміщеннях без підвищеної небезпеки;
- 42 В – в приміщеннях з підвищеною небезпекою;
- 12 В – в приміщеннях особливо небезпечних.

У випадку напруги понад 250 В огорожують не тільки незахищені, але й ізольовані струмопровідні частини.

**Застосування малих напруг** – дуже ефективний захист від ураження електричним струмом. Для живлення кіл управління технологічним обладнанням, встановленим в особливо небезпечних приміщеннях і приміщеннях з підвищеною безпекою; кіл управління пересувного устаткування і для живлення ручного інструменту використовують напругу не вище 42 В.

Захисне заземлення, занулення і відключення – основні заходи захисту людей від ураження електричним струмом у разі появи напруги на частинах конструкцій електроустаткування.

**Захисне заземлення** – свідоме електричне з'єднання з землею чи її еквівалентом металевих частин електроустаткування. Вимоги до захисного заземлення викладено в ГОСТ 12.1.030-81 «ССБП. Електробезпека. Захисне заземлення, занулення». Зміни 1987.

Мета заземлення – понизити до безпечної величини напругу відносно землі на металевих частинах електроустаткування, які випадково виявилися під напругою, і цим усунути небезпеку ураження людей електричним струмом.

**Заземлюючим пристроєм** називається сукупність заземлювачів – металевих провідників, які з'єднані з землею, і заземлюючих провідників, які з'єднують заземлювані частини електроустаткування з заземлювачами.

**Заземлювачі** бувають штучні та природні.

Як *штучні заземлювачі* використовують *сталі стрижні*, які забивають в ґрунт вертикально і з'єднують між собою сталюю шиною зварюванням.

Розрізняють заземлюючі пристрої:

- *контурні* (заземлення знаходиться у безпосередній близькості від електроустаткування);

- *виносні* (заземлення розміщені на спеціально виділеній ділянці території підприємства).

Для заземлення електроустаткування у виробничих та інших приміщеннях використовують здебільшого виносні заземлюючі пристрої з штучними заземлювачами. При цьому металеві елементи кожного електрообладнання під'єднують окремими заземлюючими пристроями до транзитної шини, яка прокладається всередині будівлі і не менше, ніж у двох місцях під'єднується до заземлювачів.

Захисне заземлення електричних установок обов'язкове згідно з ГОСТ 12.1.013-78:

- у разі номінальної напруги 380 В і вище змінного струму і 440 В і вище постійного струму – у всіх випадках;
- у разі номінальної напруги 42 В і вище змінного струму і 110 В і вище постійного струму – під час роботи в умовах з підвищеною небезпекою та особливо небезпечних.

**Занулення** – свідоме електричне з'єднання з нульовим захисним провідником металевих струмонепровідних частин, які можуть виявитися під напругою. Занулення повинно відповідати вимогам ГОСТ 12.1.030-81.

Зануленню підлягають ті ж машини і апарати, що і заземленню. В електричних мережах з нульовим проводом електроустаткування можна занулювати, заземлювати чи одночасно занулювати і заземлювати.

**Захисне вимкнення** – швидкодіючий захист, що забезпечує автоматичне відключення електроустаткування, коли в ньому виникає небезпека ураження струмом. Така небезпека може виникнути у випадку:

- *замикання фази на корпус електроустаткування,*
- *пониження опору ізоляції фаз відносно землі,*

- появи в мережі більш високої напруги,
- торкання людини до струмопровідних частин.

Вимоги до захисного вимикання викладено в ГОСТ 12.4.155-85.

**Захист від електромагнітних випромінювань** і електричних полів забезпечується виконанням вимог ГОСТ 12.1.006-84 і ГОСТ 12.4.154-85.

**Захист від електричних статичних полів** полягає в знятті з ізольованих від землі металевих частин устаткування електричної напруги, яка виникає внаслідок статичної електризації під час технологічних процесів, що супроводжуються тертям (змотування тканин, паперів, плівки), роздрібненням твердих тіл, пересипанням сипучих матеріалів, переливанням рідин-діелектриків (бензин, керосин). Дія статичної електрики на людину може проявлятися у вигляді слабкого, помірного чи навіть сильного уколу, який сам по собі не являє небезпеки, але може бути непрямою причиною нещасного випадку внаслідок рефлексорного руху людини до небезпечної зони.

Розряди статичної електрики на землю чи між частинами устаткування можуть бути причиною загорянь та вибухів газо-, паро- і пило-повітряних сумішей. Захист від статичної електрики забезпечується виконанням вимог ГОСТ 12.1.018-93, ГОСТ 12.4.144-83.

**Захист від атмосферної електрики** (блискавкозахист) – комплекс захисних пристроїв, призначених для забезпечення безпеки людей, які працюють з електроустаткуванням, від ураження електричним струмом, дії електричної дуги та електромагнітного поля.[22]



### 7.3. Безпека вантажопідіймального обладнання

На підприємствах під час виконання навантажувально-розвантажувальних робіт використовуються крани, вантажопідійомні талі, ліфти, підйомники, транспортери, рольганги, зрівнювальні майданчики, самохідні вантажні машини, візки. Вибір підіймально-транспортних засобів залежить від характеру технологічного процесу, вигляду і маси переміщуваного вантажу, тари тощо.

До вантажопідіймального обладнання належать: вантажопідіймальні пристрої та механізми (лебідки, домкрати, блоки), вантажопідіймальні крани (баштові, мостові, козлові, кран-балки, тельфери), ліфти та підйомачі.[23]

#### Вантажопідіймальні пристрої та механізми

Безпека вантажопідіймального обладнання забезпечується їх проектуванням, виготовленням та експлуатацією відповідно до вимог нормативних документів. Найбільш відповідальними елементами вантажопідіймального обладнання є несучі органи (канати, ланцюги, гаки), які в процесі роботи зазнають найбільшого зносу та навантаження. Тому їх необхідно розраховувати з великим запасом міцності, який залежно від виду вантажопідіймального обладнання, його призначення, режиму роботи механізму приймається в межах від 3,5 до 13. Коефіцієнт запасу міцності  $K$  несучого органу визначається за формулою

$$K = \frac{P}{S}, \quad (7.1)$$

де  $P$  - розривне зусилля несучого органу, [Н];  $S$  - найбільше статичне навантаження несучого органу, [Н].

Вибір діаметра сталевих канатів залежить від діаметра барабана чи блока, який він огинає і має велике значення для забезпечення зносостійкості канату. Така залежність визначається за формулою

$$D = d \times e , \quad (7.2)$$

де  $D$  - діаметр барабана чи блока, [мм];  $d$  - діаметр канату, [мм];  $e$  - коефіцієнт, що залежить від виду обладнання та режиму роботи ( $e = 16-35$ ).

Для створення безпечних умов роботи вантажопідіймального обладнання необхідно забезпечити надійне фіксування канату чи ланцюга на гаку і не допустити падіння вантажу.

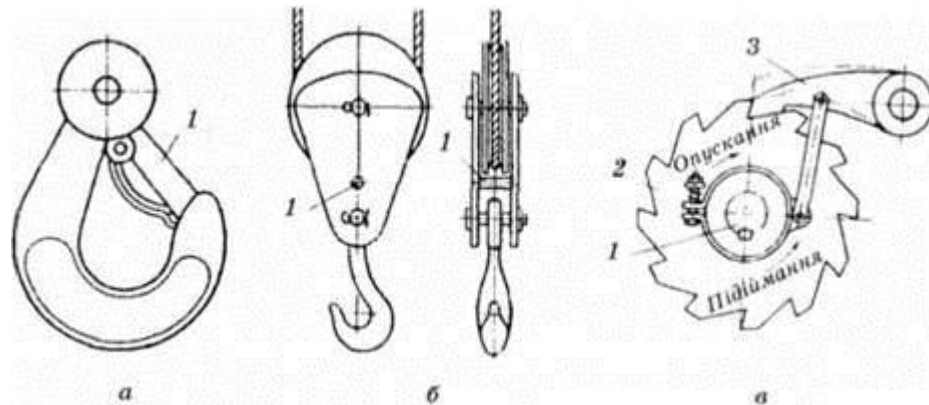


Рисунок 7.1 – Запобіжні пристрої вантажопідіймального обладнання  
 а - гак із запобіжною скобою 1; б - блок з розпірним штифтом 1;  
 в - храповий механізм з валом 1; храповим колесом 2; собачкою 3.

Це досягається застосуванням гаків із запобіжними пристроями (рис. 7.1, а). Для уникнення зісковзування канату чи ланцюга з блоку і можливого його заклинювання через обійму блоку встановлюють розпірний штифт (див. рис. 7.1, б).

Для гарантування безпеки вантажопідіймальні пристрої та механізми а ручним приводом повинні мати храповий пристрій (див. рис. 7.1, в), який запобігає падінню вантажу, під час його підймання. У гідравлічних домкратах для цього передбачено зворотний клапан. У диференційному блоці виконується пристрій, який забезпечує самогальмування вантажу на будь-якій висоті як у разі його підймання, так і опускання. Таким пристроєм може слугувати черв'ячна передача або храповий механізм.

## 8 ЕКОЛОГІЯ

### 8.1 Виробничий шум, його негативний вплив на навколишнє середовище

В процесі кристалізації сік тече по трубопроводах у фільтр зі збірника нефільтрованого соку з дуже великою швидкістю. Як правило, всякий рух рідини супроводжується шумом, і тому це призводить до виникнення шумового забруднення.

Сильний шум шкідливо відбивається на здоров'ї і працездатності людей. Він може призвести до перевантаження слухових органів, слухової втоми, зниження уваги працюючого.

Діючи на центральну нервову систему, шум впливає на весь організм людини – втрачається гострота зору, змінюється ритм дихання і серцевої діяльності, підвищується внутрішньочерепний та кров'яний тиск, уповільнюється процес травлення.

Шумом називається безладне сполучення звуків різної висоти й частоти. Звук як фізичне явище – це хвилеподібний рух, що відбувається в повітрі, воді чи іншому пружному середовищі, що викликається коливальними рухами тіла, яке видає звуки, і сприймається нашим органом слуху.

Звуки й шуми, як і всякі хвильові рухи, при своєму виникненні й поширенні підлягають законам інтерференції, дифракції, відбиття і поглинання.

Чутливість слуху до різних частот звукових коливань, що сприймаються вухом, дуже різна. При різних частотах і однаковому рівні звуку сприймаються як різні за гучністю. Найбільше відчуття гучності створюють звуки частотою від 1000 до 4000 Гц. Для порівняння гучності

різних шумів еталоном служить частота 1000 Гц, при якій спостерігається найбільша чутливість слуху.

Дуже мала звукова енергія не викликає відчуття звуку. Найслабші звуки, які чує людина, називаються звуками, що перебувають на порозі чутливості. Степінь відчуття гучності звуку починаючи від порогу чутливості зростає значно менше, ніж інтенсивність звуку.

За одиницю рівня гучності звуку чи шуму прийнято фон.

Для оцінки суб'єктивного відчуття сили звуку, що сприймається людиною, взято одиницю децибел (дБ). При частоті чистого тону звуку 1000 Гц поняття «рівень гучності» і «рівень інтенсивності звуку (сили звуку)» збігаються. Отже, одиниці фон і децибел у цьому випадку взаємно рівні.

Щоб не змішувати одиниці виміру, рівень гучності обчислюють у фонах, а рівень суб'єктивного відчуття людиною інтенсивності звуку (сили звуку) – в децибелах.

Децибел як одиниця сили звуку являє собою найменшу величину зміни у звуковому тиску від умовного порогу чутливості, що розрізняється вухом людини. Децибельне обчислення є відносним вимірюванням і показує не абсолютну силу звуку, а рівень гучності певного звуку над порогом чутливості.

Одиницею звукового тиску, що є у звуковій хвилі, є паскаль (Па). Па – це тиск звукової хвилі, що дорівнює 0,000001 атмосферного тиску.

За санітарними нормами і правилами всі допустимі виробничі шуми залежно від їх частотного складу поділено на три класи: низькочастотні, середньочастотні й високочастотні.

Для боротьби з шумом велике значення має розпізнавання ступеня гучності шумних процесів.

Шуми і стуки в деталях працюючих машин та установок виявляються за допомогою стетоскопа, подібного до медичного. Рівень гучності

вимірюють об'єктивними шумомірами, а частоту шуму – звукоаналізаторами. Щоб швидко визначати відповідність виробничих шумів діючим санітарним нормам, застосовують індикатор норм шуму ИНШ–2–ЛИОТ.

Вплив шуму різної інтенсивності ілюструється наступними даними.

130 дБА - викликає біль у вухах;

140 дБА - порушення слухового апарату;

160 дБА - смерть тварин протягом декількох хвилин;

180 дБА - викликає втому металів;

190 дБА - вириває заклепки з конструкцій.

Шум на 47% сповільнює ріст квітів, при постійній дії шуму з рівнем 100 дБА через десять днів рослина гине.

Шум поїзда супроводжується рівнем шуму 114 дБА, токарний верстат генерує шум понад 96 дБА, а вентилятор – 105 дБА.

Рівні виробничого шуму не повинні перевищувати норм, встановлених ВСН 601-84 „Нормы допустимого шума на предприятиях святи”, та в нормативному документі „Санитарные нормы допустимого шума на рабочих местах”.

Допустимий рівень шуму на постійних робочих місцях згідно з граничним спектром ГС-75 складає 80 дБА.

Отже, шум шкідливий для здоров'я, він може призвести до виробничого травматизму і професійних захворювань, а тому треба усувати цю шкідливість і вживати заходи захисту.

## **8.2 Методи та засоби зменшення шуму**

Методи та засоби захисту від шуму класифікуються наступним чином:

- зниження шуму в джерелі його виникнення;
- зниження шуму на шляху його поширення від джерела;

- засоби індивідуального захисту.

Засоби боротьби з шумом в залежності від числа осіб, котрим вони призначені, поділяються на засоби колективного захисту та індивідуального захисту.

В залежності від способу реалізації засоби колективного захисту можуть бути акустичними, архітектурно-планувальними та організаційно-технічними.

В залежності від принципу дії акустичні засоби боротьби з шумом поділяються на засоби звукоізоляції, звукопоглинання, віброізоляції, вібродемпферування.

Зниження шуму в джерелі виникнення:

- заміна зворотно-поступального переміщення деталей обертовим;
- підвищення якості балансування обертових деталей та класу точності їх виготовлення;
- заміна ударної взаємодії деталей машин безударною;
- вдосконалення кінематичних схем;
- заміна підшипників кочення підшипниками ковзання;
- застосування матеріалів з високим декрементом затухання (капронові, текстолітові шестерні);
- забезпечення розузгодження власних частот коливань механізму з частотою збуджувальної сили;
- недопущення перекосів деталей і вузлів, люфтів і зазорів;
- встановлення глушників;
- застосування листового заліза з низькою магнітострикцією, складених сердечників з метою зниження шуму трансформаторів.

Зниження шуму на шляху його поширення від джерела виникнення значною мірою досягається реалізацією будівельно-акустичних заходів.

Методи зниження шуму на шляху його поширення реалізуються застосуванням: кожухів, екранів, вигоронок, кабін спостереження, (при

дистанційному керуванні), звукоізолюючих облицювань, глушників шуму, а також методів, котрі забезпечують зниження передачі вібрації від обладнання віброізоляцією та вібропоглинанням.

*Акустична обробка приміщень.* Під акустичною обробкою приміщень мається на увазі облицювання частини внутрішніх поверхонь огорожень звукопоглинальними матеріалами, а також розташування в приміщенні штучних поглиначів, котрі являють собою вільно підвішені об'ємні поглинальні тіла різної форми. Звукопоглинальні екрани виготовляють з пористих матеріалів. Звукова хвиля в них затихає через тертя, енергія звукової хвилі переходить у теплову енергію, причому ефект звукоізоляції зростає із зростанням частоти шуму.

Звукопоглинальними матеріалами облицювають стелі, стіни комутаторних приміщень, довідкових залів телефонних станцій, цехів обробки кореспонденції тощо. У приміщеннях великого об'єму рекомендується використовувати звукопоглинальні перегородки і діафрагми з гладких матеріалів. В багатошарових матеріалах з повітряними проміжками ефект звукоізоляції зростає.

Найбільшого ефекту при акустичній обробці приміщень можна досягнути в точках, розташованих в зоні відбитого звуку; в зоні прямого звуку акустичний ефект від застосування облицювань значно нижчий.

Звукопоглиначі розташовуються на стелі та у верхніх частинах стін при висоті приміщення не більше 6...8 м таким чином, щоб акустично оброблена поверхня складала не менше 60% загальної площі поверхонь, котрі обмежують приміщення.

У вузьких та дуже високих приміщеннях доцільно облицювання розташовувати на стінах, залишаючи нижні частини стін (до 2 м висотою) необлицюваними, або спроектувати конструкцію підвісної звукопоглинальної стелі.

Якщо площа поверхонь, на котрих можливе розташування звукопоглинальних облицювань, мала, рекомендується застосовувати додатково штучні поглиначі, підвішуючи їх якомога ближче до джерела, або передбачати влаштування облицювальних щитів у вигляді куліс.

Необхідність виконання акустичної обробки приміщення визначається величиною його акустичних характеристик - постійної приміщення  $B$  та коефіцієнтом звукопоглинання  $\alpha$ . Ефективність застосування акустичної обробки приміщень невелика (4...7 дБ), тому за необхідності її потрібно проводити у поєднанні з іншими заходами щодо шумоглушіння.

*Звукоізоляція.* Методами звукоізоляції можна ізолювати джерело шуму або приміщення від шуму, котрий проникає ззовні. Звукоізоляція досягається створенням герметичної перепони на шляху поширення повітряного шуму у вигляді стін, кабін, кожухів, екранів.

Звукоізолююча здатність огороження (стін, перегородок)  $R_{н.огор.}$ , за допомогою котрого забезпечується в приміщенні, суміжному з шумним, виконання нормативних вимог, визначається з виразу

$$R_{н.огор.} = L - \lg B + 10 \lg S_{огор.} - L_N \quad (8.1)$$

де  $L$  - октавні рівні звукового тиску в шумному приміщенні, дБ;  $B$  - постійна приміщення, суміжного з шумним;  $m^2$ , котра визначається залежно від об'єму приміщення;  $S_{огор.}$  - площа огороження, загального для шумного та ізолюваного приміщення,  $m^2$ ;  $L_N$  - допустимі октавні рівні звукового тиску в ізолюваному приміщенні, дБ.

За розрахованими значеннями необхідної звукоізолюючої здатності огороження  $R_{н.огор.}$  підбирається матеріал конструкції таким чином, щоб реальні значення  $R_{огор.}$  для кожної октавної смуги частот були не нижчими, ніж  $R_{н.огор.}$ . Тоді рівень шуму в ізолюваному приміщенні  $L_{із}$  визначається за формулою

$$L_{із} = L - R_{огор.} - \lg B + 10 \lg S_{огор.}, \quad (8.2)$$



де  $R_{\text{огор}}$  - звукоізолююча здатність реальної конструкції суміжного огороження, дБ.

*Звукоізолюючі кожухи.* Ефективний спосіб зниження шуму - розташування джерела шуму в звукоізолюючому кожусі.

Висока звукоізолююча здатність кожуха може бути досягнута лише у випадку відсутності щілин, отворів, за умови ретельної віброізоляції кожуха від фундаменту та трубопроводів, а також за наявності на внутрішній поверхні кожуха звукопоглинального матеріалу

Звукоізолююча здатність кожуха визначається фізичними параметрами матеріалів та конструктивними розмірами його елементів.

Необхідна звукоізолююча здатність стінок кожуха  $R_{\text{н.кож}}$  визначається за формулою

$$R_{\text{н.кож}} = \Delta L_{\text{необ.}} + 10 \lg S_{\text{кож}} / S_{\text{дж}}, \quad (8.3)$$

де  $\Delta L_{\text{необ.}}$  - необхідне зниження рівнів шуму, дБ;  $S_{\text{кож}}$  площа поверхні кожуха,  $\text{м}^2$   $S_{\text{дж}}$  площа уявної поверхні, що впритул оточує джерело шуму,  $\text{м}^2$ .

Конструкція огороження кожуха підбирається таким чином, щоб його звукоізолююча здатність була для кожної октавної частоти не меншою, ніж необхідна.

Рівень шуму в розрахунковій точці після встановлення кожуха визначається за формулою

$$L_{\text{кож}} = L - R_{\text{кож}} + \lg S_{\text{кож}} / S_{\text{дж}}, \quad (8.4)$$

де  $L$  - рівень шуму в розрахунковій точці до встановлення кожуха, дБ;  $R_{\text{кож}}$  - звукоізолююча здатність реальної конструкції стінок кожуха, дБ.

*Звукозахисні кабінки.* Це локальні засоби шумозахисту, котрі встановлюються там, де можна протягом тривалого часу ізолювати людину від джерела шуму. Виготовляються вони зі сталі, деревинностружкових плит тощо. Вікна з подвійним склінням герметизуються гумовими прокладками.

Двері виконуються подвійними з гумовими прокладками по периметру для запобігання виникненню щілин.

Необхідну звукоізолюючу здатність кабіни визначають за формулою

$$R_{н.каб} = L + 10 \lg S / B - L_N \quad (8.5)$$

де  $L$  - рівні шуму в розрахунковій точці до встановлення кабіни, дБ;  $S$  - площа огорожень, через котрі шум проникає з шумного приміщення (сумарна площа огорожувальних поверхонь кабіни за виключенням підлоги),  $m^2$ ;  $B$  - постійна приміщення кабіни,  $m^2$ ;  $L_N$  - допустимі значення рівнів звукового тиску в кабіні.

*Акустичні екрани.* Якщо немає можливості повністю ізолювати джерело шуму або саму людину за допомогою кожухів та кабін, то частково знизити вплив шуму на людину можна за допомогою акустичних екранів, які встановлюються на шляху поширення акустичного випромінювання.

Екрани використовуються для огороження джерел шуму від сусідніх робочих місць або для відгородження частин приміщення з малощумним технологічним обладнанням від сильних джерел шуму

Плоскі екрани ефективні в зоні дії прямого звуку, починаючи з частоти 500 Гц; вгнуті екрани різноманітної форми ефективні також в зоні відбитого звуку, починаючи з частоти 250 Гц.

Застосування екранів доцільне в поєднанні з акустичною обробкою, тобто там, де постійна приміщення велика.

Екрани можуть бути виготовлені зі сталевих, алюмінієвих листів товщиною 1,5...2 мм, з легких сплавів товщиною 2...3 мм, фанери - 5...15 мм, органічного скла - 5...10 мм та з інших матеріалів. Для звукопоглинального облицювання екранів застосовуються ті ж матеріали, що й для акустичної обробки приміщень.

*Глушники шуму.* Глушники шуму - ефективні засоби зниження шуму, котрий виникає при забиранні повітря та викиданні відпрацьованих газів у

вентиляторах, повітропроводах, пневмоінструменті газотурбінних, дизельних, компресорних установках.

За принципом дії глушники шуму поділяються на глушники активного (дисипативного) типу та реактивного (відбиваючого) типу. В глушниках реактивного типу шум знижується за рахунок відбивання енергії звукових хвиль в системі розширювальних та резонансних камер, з'єднаних між собою та об'ємом повітропровода за допомогою труб, щілин, отворів. Шум знижується за рахунок відбивання звукових хвиль. Камери можуть бути всередині вкриті звукопоглинальним матеріалом; тоді в низькочастотній області вони працюють як відбивачі, а у високочастотній - як поглиначі звуку.

Активні глушники доцільно застосовувати для зниження шуму на частотах, для котрих  $0,5\lambda \leq (0,5...1) \sqrt{F}$ ; реактивні глушники доцільно використовувати на частотах, для котрих  $0,5\lambda > \sqrt{F}$ , де  $\lambda$  - довжина звукової хвилі в повітрі, м;  $F$  - площа поперечного перетину повітропровода, м<sup>2</sup>.

Індивідуальний захист органів слуху здійснюється за допомогою навушників, м'яких шоломів, які знижують рівень звукового тиску на 40-50дБ.

Під час усунення окремих несправностей при короткочасному перебуванні біля фільтру, працівники повинні користуватися засобами індивідуального захисту: протишумними навушниками чи спеціальними вкладишами (берушами), які закладають у вухо.

Для захисту від шуму операторів повинні виділятися спеціальні звукоізольовані кімнати з виводом у них всіх необхідних органів керування фільтраційними установками і засобів контролю.

Використання вище перерахованих засобів захисту у боротьбі з шумом дозволяє якщо не довести до встановлених норм, то значно знизити величину виробничого шуму.

## ОСНОВНІ ВИСНОВКИ ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ

В процесі виконання роботи було прийнято наступні рішення:

- Проаналізовано основні аспекти та параметри технологічного процесу водопостачання.
- Проаналізовано систему трубопроводів на виникнення критичних поломок та виходу з ладу системи.
- Розроблено концепцію автоматизованого керування водопостачанням.
- Розроблено систему керування на базі ПЛК ОВЕН.
- Оптимізовано роботу системи для забезпечення нормального режиму роботи системи водопостачання.

## БІБЛІОГРАФІЯ

1. А.Г. Микитишин, М.М. Митник, П.Д. Стухляк, В.В. Пасічник Комп'ютерні мережі. Книга 1. [навчальний посібник] (Лист МОНУ №1/11-8052 від 28.05.12р.) - Львів, "Магнолія 2006", 2013. – 256 с.
2. А.Г. Микитишин, М.М. Митник, П.Д. Стухляк, В.В. Пасічник Комп'ютерні мережі. Книга 2. [навчальний посібник] (Лист МОНУ №1/11-11650 від 16.07.12р.) - Львів, "Магнолія 2006", 2014. – 312 с.
3. Микитишин А.Г., Митник, П.Д. Стухляк. Комплексна безпека інформаційних мережевих систем: навчальний посібник – Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2016. – 256 с.
4. Микитишин А.Г., Митник М.М., Стухляк П.Д. Телекомунікаційні системи та мережі : навчальний посібник для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» – Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017 – 384 с.
5. [https://owen.ru/project/Dispetcherizatsiya\\_vodosnabjeniya\\_goroda](https://owen.ru/project/Dispetcherizatsiya_vodosnabjeniya_goroda)  
[https://owen.ru/project/upravlenie\\_nasosami\\_artezijskih\\_skvazhin\\_i\\_stancij\\_vod\\_ozabora](https://owen.ru/project/upravlenie_nasosami_artezijskih_skvazhin_i_stancij_vod_ozabora)
6. [https://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=5039](https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=5039).
7. Соколов М.М. Автоматизированный электропривод общепромышленных механизмов. – М.: Энергия, 1974. – 328 с.
8. Принципы построения и оптимизация схем индуктивно-емкостных преобразователей / И.В. Волков, В.Н. Губаревич, В.Н. Исаков, В.П. Кабан. – К.: Наук. думка, 1981. – 176 с.
9. Мэрфи Дж. Тиристорное управление двигателями переменного тока. – М.: Энергия, 1979. – 254 с.
10. Калашников Б.Е., Кривицкий С.О., Эпштейн И.И. Системы управления автономными инверторами. – М.: Энергия, 1974. – 103 с.