

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ С.З. ГЖИЦЬКОГО
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ

КАФЕДРА ЕНЕРГЕТИКИ

К В А Л І Ф І К А Ц І Й Н А Р О Б О Т А

Рівень вищої освіти – перший «бакалаврський» рівень

на тему: **«Удосконалена електрична схема включення рециркуляційної помпи автономної системи гарячого водопостачання житлової будівлі»**

Виконав: студент групи Ен-42

Спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва)

Гануляк Денис Сергійович

(підпис)

(прізвище, ім'я, по-батькові)

Керівник:

к.т.н. в.о.доцента Михалюк М.А.

(підпис)

(наук. ступінь, вч.звання, прізвище, ініціали)

Дубляни 2025

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕНЕРГЕТИКИ**

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедри _____

(підпис)

к.т.н., доцент Сиротюк С.В.

“ _____ ” _____ 2025 р.

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу студенту

Гануляку Денису Сергійовичу

1. Тема роботи: **Удосконалена електрична схема включення рециркуляційної помпи автономної системи гарячого водопостачання житлової будівлі**

Керівник роботи: к.т.н. в.о. доцента Михалюк М.А.

Затверджена наказом по університету від 25.02.2025року №123 /К-С

2. Строк здачі студентом закінченої роботи: 05.06.2025року

3. Вихідні дані: інструкції з технічної експлуатації та технічного обслуговування об'єкту водопостачання, нормативи з використання води промисловими підприємствами; патентний пошук та літературні джерела, які стосуються удосконалення пристроїв контролю роботи систем водопостачання; визначення економічної ефективності удосконалення використання технічних засобів для контролю роботи системи водопостачання.

4. Перелік питань, які необхідно розробити:

1. Загальна характеристика об'єкту водопостачання, обґрунтування теми кваліфікаційної роботи.

2. Характеристика системи водопостачання об'єкта та схем керування, що входять до її складу.

3. Вибір, складу та удосконалення схеми керування об'єктом енергопостачання.

4. Охорона праці та довкілля.

5. Розрахунок економічного ефекту від використання технічних засобів для контролю роботи системи водопостачання.

Висновки і пропозиції;

Бібліографічний список.

5. Ілюстративний матеріал: Подати у формі презентації;

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада Консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
4	<i>Городецький І.М., доцент кафедри Інженерної механіки</i>	25.02.2025	25.02.2025	

7. Дата видачі завдання: 25.02.2025Р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про вико- нання
1	<i>Написання першого розділу</i>	25.02.25-05.03.25	
2	<i>Виконання другого розділу</i>	06.03.25-30.03.25	
3.	<i>Виконання третього розділу та розробка листів конструктивної частини</i>	01.04.25-25.04.25	
4.	<i>Написання розділу: «Охорона праці»</i>	26.04.25-05.05.25	
5.	<i>Розрахунок економічної ефективності запропонованого удосконалення та розробка листа «Економічна ефективність»</i>	06.05.25-18.05.25	
6.	<i>Завершення оформлення розрахунково- пояснювальної записки та аркушів презентаційної частини</i>	До 05.06.25	

Студент _____ Д. Гануляк
(підпис)

Керівник роботи _____ М. Михалюк
(підпис)

Удосконалена електрична схема включення рециркуляційної помпи автономної системи гарячого водопостачання житлової будівлі.

Гануляк Денис Сергійович. Кваліфікаційна робота. Кафедра енергетики. Дубляни, ЛНУВМБ. 2025р. ст. 44 текст. част., рис.19, табл.10., 20 джерел.

Проведений аналіз стану системи гарячого водопостачання житлової будівлі, обсяги споживання енергоносіїв, зокрема системою водопостачання.

Розраховано основні параметри системи водопостачання та здійснено вибір обладнання, а також проведено розрахунок насосів та системи керування.

Розглянуто існуючі системи водопостачання житлових будівель, принцип роботи і технічний огляд, підібрана оптимальна електрична схема управління насосами станції другого підйому води.

Розроблено питання охорони праці та екологічної безпеки виробництва.

Впровадження проекту в виробництво матиме строк окупності 1,9 року.

ЗМІСТ

УДК

Вступ

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ІНЖЕНЕРНОГО ОБЛАДНАННЯ БУДІВЛІ	7
1.1 Енергозабезпечення житлової будівлі	7
1.2 Схема електричних з'єднань 10кВ	8
1.3 Система опалення та гарячого водопостачання	10
1.4 Техніко-економічне обґрунтування проведення реконструкції	10
2 РОЗРАХУНОК ВИТРАТИ ХОЛОДНОЇ ТА ГАРЯЧОЇ ВОДИ	13
2.1 Розрахунок добового споживання води	13
2.2 Розрахунок використання холодної води для поливу	14
2.3 Графік добової нерівномірності споживання гарячої води	15
2.4 Гідравлічний розрахунок трубопроводів	15
2.5 Розрахунок необхідного напору насоса та його вибір	17
2.6 Опис схеми керування насосом	18
2.7 Опис роботи схеми гарячого водопостачання з циркуляційним насосом	20
3 РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ ГАРЯЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ	21
3.1 Огляд методів нагріву води та принцип дії бойлера непрямого нагріву	21
3.2 Вибір схеми нагріву	22
3.3 Розрахунок часу нагріву води	23
3.4 Вибір частотного перетворювача для системи водопостачання	25
3.5 Розрахунок параметрів частотного перетворювача	26
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ	37
4.1 Електробезпека в приміщенні	37
4.2 Розрахунок освітлення	39
4.3 Розрахунок захисту від блискавки	40
4.4 Охорона довкілля при використанні водних ресурсів	42
5 РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЕКТУ	43
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ	
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	

ВСТУП

Можливості підвищення рівня продуктивності праці в житлово-комунальному господарстві здійснюється за рахунок впровадження нових технологій по монтажу санітарно-технічних систем, а також проведення заходів по автоматизації та диспетчеризації цих робіт.

Насосні станції сучасних систем водопостачання обладнуються, як правило, відцентровими насосами з електричним приводом, а також регулюючої, запобіжної і контрольно-вимірювальною апаратурою. Багато насосні станції мають телеуправління і повністю автоматизовані.

Для безаварійності обладнання при експлуатації має значення настройка і перевірка якості монтажу, відповідно до заданого проекту, також створення спеціальних робочих груп по нагляду за роботою. Окрім цього потрібно постійно підвищувати рівень кваліфікації обслуговуючого персоналу.

Захист навколишнього середовища є актуальним питанням, адже збільшення комплексу будівельних робіт і внутрішнього монтажу спричиняють значні забруднення викидами в водне, повітряне і ґрунтове середовище, що призводить до катастрофічних наслідків широких масштабів.

З цього приводу створюється низка документів і законів, які захищають природне середовище.

Метою даної роботи є практичне засвоєння комплексу питань, пов'язаних з проектуванням та розрахунком електричних схем керування насосними установками, що використовуються для удосконалення системи гарячого водопостачання будинку.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ІНЖЕНЕРНОГО ОБЛАДНАННЯ БУДІВЛІ

Житлова будівля є триповерховим багатоквартирним будинком, у якому розміщено шість квартир: три трикімнатні та три двокімнатні. Забезпечення життєдіяльності мешканців здійснюється за рахунок наявних інженерних мереж, зокрема:

1.1 Енергозабезпечення житлової будівлі

Проектування електропостачання проводиться з перспективою розвитку очисних підприємства на ближчі 10 років. Проекти повинні розроблятися на основі відповідних документів, затверджених міністерствами і відомствами. Основними визначальними факторами є характеристики джерел живлення, потужність і категорія споживачів електроенергії. У проектах необхідно враховувати вимоги обмеження струмів короткого замикання, установки простого і надійного релейного захисту, засобів автоматики; можливості установки електроустаткування на відкритому повітрі, де це припустимо по виду виконання електроустановок, кліматичним умовам, забрудненню навколишнього середовища і завантаженості промислових площадок підприємств.

Конкретна величина підведеної напруги визначається на основі техніко-економічних розрахунків, у яких порівнюють початкові витрати на будівництво, витрати на експлуатацію, показники у відношенні якості електроенергії, перспективність при подальшому розвитку системи електропостачання.

На очисних підприємствах широко застосовують високопродуктивні механізовані комплекси установок з електричним приводом. Кожна установка оснащена значною кількістю електроустаткування, на умови експлуатації якого істотний вплив роблять наступні основні фактори: потужність установок,

забрудненість води та ін.

При роботі на відкритому повітрі електроустаткування піддається впливу атмосферних опадів, підвищеної сонячної радіації, змінам температури навколишнього середовища в залежності від періоду року, запилення і пар хімічних реагентів, що містяться в повітрі. Тому для південних районів через високу температуру навколишнього середовища варто застосовувати електроустаткування в тропічному виконанні (Т).

Експлуатація електроустаткування пов'язана з підвищеною небезпекою враження людей електричним струмом. Причинами цього є: застосування на окремих установках електроустаткування постійного і змінного струмів при наявності декількох ступенів напруги; негативний вплив на нормальну експлуатацію кабельних ЛЕП блукаючих струмів і повітряних ЛЕП — грозових розрядів.

У зв'язку з вищевикладеним до електроустаткування пред'являються наступні вимоги: підвищена механічна міцність зовнішніх оболонок; захист струмоведучих частин від пилу, вологи і хімічних реагентів; застосування волого-, тепло- чи холодостійкої ізоляції в залежності від експлуатації електроустаткування у визначених кліматичних умовах; використання швидкодіючих захисних засобів від враження людей електричним струмом.

Розподільний пункт 10кВ індивідуальної розробки поєднаний з трансформаторною підстанцією 10/0,4кВ 2х1000кВА+2х1600кВА) передбачається виконати у вбудованому приміщенні корпусу приміщення на планувальних відмітках — 3.300, –6.150 і –6.600 в осях (8 – 10) – (N' – J').

1.2 Схема електричних з'єднань 10кВ

На напрузі 10кВ передбачена одинарна, секціонована

вакуумним вимикачем на дві секції система збірних шин. До першої секції приєднані:

- одна живляча лінія складається з одного кабелю однофазного виконання від ПС «Центр» -віч.№12;
- п'ять розподільних ліній 10кВ (до ТП-4106-Ісек. і резервні вічка);
- дві лінії до силових трансформаторів Т1 і Т3;
- три однофазних трансформатора напруги 10000/100/ $\sqrt{3}$ Y12G;
- три обмежувача перенапруження ОПН-КР/TEL-12,0;заземлювач збірних шин;
- секційний вакуумний вимикач 10кВ. До другої секції приєднані:
- одна живляча лінія, що складається з одного кабелю однофазного виконання від ПС «Центр» -віч.№25;
- п'ять розподільних ліній 10кВ (до ТП-4181-Ісек. і резервні вічка);
- дві лінії до силових трансформаторів Т2 і Т4;три однофазні трансформатори напруги 10000/100/ $\sqrt{3}$ Y12G;
- три обмежувача перенапруження ОПН-КР/ TEL -12,0;
- заземлювач збірних шин;
- секційний роз'єднувач 10кВ.

Секції працюють окремо (секційний вимикач відключений). Резервування живлячих ліній передбачається на секційному вимикачі який обладнаний пристроєм АВР. Всі вимикачі передбачені вакуумними серії ВВ/TEL -10- 630/20.

Живлячі лінії 10кВ, що відходять, запроектовані окремим розділом робочої документації. Лінії 10кВ до вбудованих силових трансформаторів 1000кВА і 1600 кВА прийняті кабельними з використанням одножильних кабелів з мідними жилами в пластмасовій оболонці і ізоляції перетином 70мм² марки АНХСМК 16.

Система електропостачання: Будівля підключена до зовнішньої мережі електропостачання через окрему трансформаторну підстанцію або розподільчий щит. Напруга живлення — 230/400 В. Система електропостачання забезпечує живлення побутових приладів, освітлення, систем автоматики, вентиляції та насосного обладнання. Система газопостачання: Газопостачання побутове — природний газ подається до кожної квартири для приготування їжі. Газорозподільна мережа обладнана лічильниками газу, засобами контролю і безпеки (газові клапани, витяжки, димовидалення). Система водопостачання: Водопостачання будівлі здійснюється від локального джерела — артезіанської свердловини глибиною до 100 м. Вода подається насосною установкою через фільтри механічного очищення до споживачів. Забезпечено роздільне подавання холодної та гарячої води. Система обладнана водолічильниками у кожній квартирі.

1.3 Система опалення та гарячого водопостачання

На даний момент система гарячого водопостачання функціонує від дахової котельні, що забезпечує приготування гарячої води для господарсько-побутових потреб мешканців. Подавання води здійснюється за тупиковою схемою без циркуляції, що призводить до затримки подачі гарячої води у віддалених точках водорозбору.

Централізована система опалення реалізована на базі дахової котельні. В якості джерела тепла використовуються два конденсаційні котли з погодним регулюванням. Теплоносій подається через двотрубну горизонтальну систему до квартир, забезпечуючи рівномірне теплопостачання.

1.4 Техніко-економічне обґрунтування проведення реконструкції

Аналіз існуючої системи.

Житловий будинок був побудований в кінці 1988 року. Системи водопостачання і каналізації з моменту спорудження не мінялися. В результаті накопичилися ряд проблем пов'язаних з експлуатацією цих систем, таких як:

1. Брак напору води у водопроводі на верхньому поверсі будівлі;
2. Невідповідність якості води умовам ГОСТу.
3. Витоки в зварних з'єднаннях і системах змішувачів;
4. Обрив ізоляції водопровідних стояків і магістралей;
5. Технічно і морально застарілі системи змішувачів;
6. Часті засмічення системи каналізації.

Крім того в результаті загальної реконструкції будівлі передбачається перепланування мансардного поверху і облаштування спортивно-оздоровчої кімнати.

Варіанти рішень.

1. Недолік напору можна усунути:

- підвищенням тиску на введенні в будівлю, тобто на місцевій насосній станції
- установкою місцевої насосної установки (для будівлі).

З економічних міркувань ефективніший 2 варіант, оскільки при першому вирішенні витрати на переобладнання вищі

2. Встановлення системи очистки води у підвальному приміщенні будівлі.

3. Витоки в зварних з'єднаннях і системах змішувачів:

- повторна зварка з'єднань, або накладення «хомутів» на місця витоків, заміна прокладок в системах змішувачів;
- заміна труб і систем змішувачів на нові.

Трудомісткість другого варіанту значніша, але технічно ефективніше за перший варіант, оскільки дозволяє понизити вірогідність появи проблем такого роду за рахунок контрольних заходів.

4. Зірвані ізоляції водопровідних стояків і магістралей:

- накладення нової ізоляції замість тієї, що зірвалася;
- повна заміна ізоляції на нову.

Оскільки ми замінюємо водопровідну мережу на нову то відповідно раціональніше замінювати і ізоляцію, а не відновлювати стару.

5. Технічно і морально застарілі системи змішувачів:

- заміна систем змішувачів на нові

6. Засмічення каналізації:

- установка «ревізій» в найбільш засмічувані місця;
- заміна мереж каналізації.

Стара система каналізації прокладена з чавунних труб, замінюючи їх на пластмасову ми отримуємо менше їх заростання з часом.

З урахуванням перепланування і перебудови поверху вибрані рішення виявляються найбільш раціональними.

Таким чином з метою проведення реконструкції доцільно:

- встановити систему підвищення тиску та систему очистки води в підвальному приміщенні будівлі.
- замінити трубопроводи: стояків на водогазові оцинкованих ГОСТ 3262-75, відведення від стояків до санітарних приладів на металополімерні труби.
- замінити системи змішувачів в санітарних вузлах.
- ізолювати трубопроводи.
- змонтувати каналізацію з пластмасових труб замість чавунної.

2 РОЗРАХУНОК ВИТРАТИ ХОЛОДНОЇ ТА ГАРЯЧОЇ ВОДИ

Для різних потреб населення в місті, що перевищує трьох тисячне населення, формування витрати води в населених пунктах розраховується з урахуванням наявності в будівлях різного типу систем водопостачання та обладнання відповідно санітарних вимог. У загальноприйнятих витратних нормах, призначених для об'єктів житлового типу не включаються поливальні витрати води насаджень, і не враховані норми для санаторно-курортних закладів, ряду інших об'єктів. Розрахунок норм здійснюється з урахуванням таких нюансів, як кліматичні умови місцевості, висота будівлі.

Для визначення розрахункової витрати води в житловій триповерховій будівлі з 6 квартирами проведено аналіз складу мешканців та використано нормативні добові норми споживання.

Вихідні дані

- Кількість квартир:

- 3 трикімнатні квартири — по 4 мешканці;
- 3 двокімнатні квартири — по 3 мешканці.

- Нормативні витрати на 1 особу згідно з СНіП:

- Холодна вода — 170 л/добу;
- Гаряча вода — 105 л/добу.

Загальна кількість мешканців

$$N = (3 \times 4) + (3 \times 3) = 12 + 9 = 21 \text{ особа}$$

2.1 Розрахунок добового споживання води

$$\text{Холодна вода: } Q_{хв,доба} = 21 \times 170 = 3570 \text{ л/добу} \quad (2.1)$$

$$\text{– Гаряча вода: } Q_{гв,доба} = 21 \times 105 = 2205 \text{ л/добу} \quad (2.2)$$

Секундна витрата води

Оскільки 1 доба = 86400 с, отримаємо:

$$- \text{Холодна вода:} \quad q_{\text{хв}} = 3570 / 86400 \approx 0,041 \text{ л/с} \quad (2.3)$$

$$- \text{Гаряча вода:} \quad q_{\text{гв}} = 2205 / 86400 \approx 0,026 \text{ л/с} \quad (2.4)$$

Ці значення є основою для подальшого гідравлічного розрахунку трубопроводів і підбору насосного обладнання.

2.2 Розрахунок використання холодної води для поливу

Окрім побутового споживання, холодна вода в житловій будівлі також використовується для поливу клумб та озеленення прибудинкової території. Це потребує врахування додаткового обсягу водоспоживання при розрахунках загального навантаження на систему водопостачання.

Для розрахунку витрати води для поливу приймаємо наступні умови:

Площа поливу — 150 м²

Норма поливу — 3 л/м² на день

Кількість днів поливу на рік — 180

Розрахунок річної витрати води:

$$Q_{\text{річна}} = 150 \times 3 \times 180 = 81000 \text{ л/рік} \quad (2.5)$$

Середньодобове споживання води для поливу:

$$Q_{\text{добова}} = 81000 / 365 \approx 221,92 \text{ л/добу} \quad (2.6)$$

Секундна витрата холодної води на полив:

$$q = 221,92 / 86400 \approx 0,0026 \text{ л/с} \quad (2.7)$$

Отримане значення додається до загального водоспоживання системи холодного водопостачання при проектуванні.

2.3 Графік добової нерівномірності споживання гарячої води

Для гарячого водопостачання характерна нерівномірність споживання протягом доби. На основі типових коефіцієнтів нерівномірності побудовано графік, який дозволяє врахувати пікові навантаження при підборі ємності накопичувальних баків або режиму роботи насосів.



Рисунок 2.1 – Графік добової нерівномірності споживання води

2.4 Гідравлічний розрахунок трубопроводів

Гідравлічний розрахунок проводиться для визначення оптимальних діаметрів трубопроводів системи водопостачання, перевірки швидкості потоку та визначення втрат напору на основі рівняння Дарсі-Вейсбаха.

Формули, які використовуються при розрахунку:

1. Площа поперечного перерізу трубопроводу:

$$\omega = Q / v \quad (2.9)$$

2. Попередній розрахунок діаметра:

$$D = \sqrt{4 \frac{\omega}{\pi}} \quad (2.10)$$

3. Швидкість потоку у трубі:

$$v = \frac{4Q}{\pi D^2} \quad (2.11)$$

4. Коефіцієнт тертя для турбулентного потоку (метод Альтшуля):

$$\lambda = 0.11 \times \left(\frac{\varepsilon}{D} + \frac{68}{Re} \right)^{0.25} \quad (2.12)$$

5. Втрати напору за формулою Дарсі-Вейсбаха:

$$h = \lambda \times \left(\frac{L}{D} \right) \times \left(\frac{v^2}{2g} \right) \quad (2.13)$$

де: Q — витрата, м³/с; v — швидкість потоку, м/с; ω — площа поперечного перерізу труби, м²; D — діаметр труби, м; λ — коефіцієнт тертя ε — шорсткість труби, м; Re — число Рейнольдса; g — прискорення вільного падіння (9,81 м/с²); L — довжина трубопроводу, м.

Таблиця 2.1 – Розрахунок водопровідної мережі

Ділянка	Витрата, л/с	Обраний діаметр, м	Швидкість, м/с	Re	Коеф. тертя λ	Втрати напору, м
Подаючий стояк ГВП	0.026	0.015	0.147	2206	0.029	0.038
Циркуляційний стояк	0.01	0.015	0.057	848	0.0754	0.015

Холодна вода	0.0436	0.015	0.247	3700	0.0173	0.089
--------------	--------	-------	-------	------	--------	-------

Для забезпечення роботи системи водопостачання необхідно підібрати насос з такими параметрами:

Потрібний напір: $\approx 14,1$ м

Потрібна подача: $\approx 0,25$ м³/год

2.5 Розрахунок необхідного напору насоса та його вибір

Для забезпечення надійної роботи системи гарячого водопостачання необхідно визначити потрібний напір насоса з урахуванням:

- гідравлічних втрат у трубопроводах;
- висоти підйому води на третій поверх;
- резерву по напору для стабільної роботи обладнання.

Розрахунок здійснюється за формулою:

$$H_{\text{потр}} = h_{\text{втрат}} + h_{\text{підйому}} + h_{\text{резерву}} \quad (2.14)$$

де: $h_{\text{втрат}}$ – сума гідравлічних втрат у трубопроводі, м, $h_{\text{підйому}}$ – геометрична висота подачі води на третій поверх (≈ 9 м), $h_{\text{резерву}}$ – запас напору (≈ 5 м).

Після проведених розрахунків отримано необхідний напір: $H_{\text{потр}} \approx 14,1$ м
Необхідна подача води (враховуючи гаряче та холодне водопостачання):

$$Q_{\text{потр}} \approx 0,25 \text{ м}^3/\text{год}$$

На основі розрахованих параметрів було підібрано модель циркуляційного насоса:

Grundfos Comfort 15-14 B TA (арт. 97916757)

- Напір: до 14 м;
- Подача: до 0,3 м³/год;

- Живлення: 230 В;
- Особливість: технологія AUTOADAPT — автоматичне регулювання режиму роботи;
- Ціна: $\approx 8\,132$ грн

Схема електричного підключення та керування циркуляційним насосом **Grundfos Comfort 15-14 B TA AUTOADAPT**, адаптована для нашої системи:



Рисунок 2.2 - Циркуляційний насос системи гарячого водопостачання

2.6 Опис схеми керування насосом

Живлення 230 В підключається через вхідний кабель зі стандартною вилкою (Schuko), що під'єднана до розетки з заземленням. У насос вбудовано **автопідсилювач AUTOADAPT**:

- вбудований **термодатчик** контролює температуру води в подачі;
- насос навчається графіку споживання в перші 2 тижні;
- автоматично переходить у режим **“Vacant mode”** після 24 годин без використання.

Управління режимами забезпечується **кнопками на корпусі**:

- **AUTOADAPT** – інтелектуальний режим автоматичного запуску;
- **Time mode** – циклічне включення по таймеру;

– **Continuous mode** – постійна робота.

Насос під'єднується до **контактори в ланцюгу циркуляції**, що дозволяють керувати його роботою через зовнішній ПЛК або кнопки аварійного відключення.

Автоматичні перемикачі режимів та зовнішні датчики можливі для інтеграції у існуючу систему ПЛК (наприклад, для сигналів "температура нижча/вища").

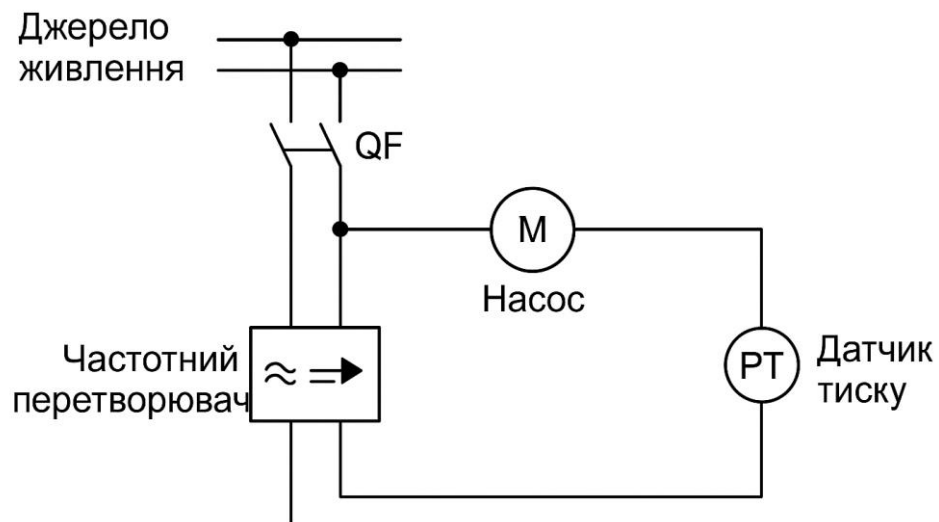


Рисунок 2.3 – Оптимізована схема керування насосною установкою системи гарячого водопостачання

Таблиця 2.2 - Типове підключення в контексті системи

Компонент	Підключення
Розетка	Живлення насоса
Насос	Підключений в ланцюг циркуляції, встановлений на зворотному стояку
ПЛК Siemens	Через контактори забезпечує керування режимом та аварійне відключення
Кнопка «Аварія»	Заходить у ланцюг живлення для негайного знеструмлення насоса
Термодатчик	Вбудований, забезпечує автоматичне керування режимами роботи

2.7 Опис роботи схеми гарячого водопостачання з циркуляційним насосом

Система гарячого водопостачання побудована за циркуляційною схемою, яка передбачає безперервний рух гарячої води по трубопроводах навіть за відсутності водорозбору. Це дозволяє забезпечити миттєву подачу гарячої води до будь-якої точки споживання без затримок і перевитрати води.

Основні компоненти схеми

1. Джерело тепла — дахова котельня.
2. Гаряча лінія — подає гарячу воду до споживачів.
3. Точки водорозбору — умивальники, ванни, душові, мийки.
4. Зворотна лінія — повертає охолоджену воду до котельні.
5. Циркуляційний насос — забезпечує постійну циркуляцію.
6. Клапани та арматура — для регулювання і відсічення потоку.
7. Автоматична система керування — керує насосом за сигналами з датчиків.

Алгоритм роботи системи

- Котел нагріває воду до заданої температури (наприклад, $+55\text{ }^{\circ}\text{C}$).
- Гаряча вода подається трубопроводом до стояків і квартир.
- Невикористана вода надходить до зворотного трубопроводу.
- Циркуляційний насос прокачує воду через контур, підтримуючи температуру.
- При відкритті крана — вода одразу надходить прогрітою.
- Температурні датчики керують насосом для економії електроенергії.

Переваги системи

- Миттєвий доступ до гарячої води у всіх точках.
- Зменшення тепловтрат у трубопроводах.
- Комфортна експлуатація без затримок.
- Зниження витрат холодної води.
- Можливість автоматизованого керування.

3. РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ ГАРЯЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

3.1 Огляд методів нагріву води та принцип дії бойлера непрямого нагріву

Існує кілька основних способів нагріву води. Найпоширенішими є: проточний електричний водонагрівач, теплообмінник та теплова помпа.

Проточний електричний водонагрівач — це найпростіший та порівняно недорогий метод нагріву води, який часто використовується для басейнів. Пристрій забезпечує підігрів безперервного потоку рідини з мінімальними втратами тиску. Однак основним недоліком є високе споживання електроенергії.

Теплообмінник — це пристрій, що передає теплову енергію від одного середовища до іншого через роздільну стінку. Він складається з кожуха та внутрішнього змієвика (системи трубок, зазвичай U-подібної форми). У процесі рекуперації тепло передається від гарячого теплоносія до води, що потребує нагріву, через стінки трубок змієвика.

Теплова помпа — сучасний енергоефективний пристрій, який забезпечує нагрів води за рахунок відбору теплової енергії з навколишнього середовища (повітря, ґрунту чи води). Цей метод дозволяє суттєво зменшити витрати електроенергії.

Теплообмінники, що працюють на основі теплоносія від системи опалення або альтернативного джерела, мають назву бойлери непрямого нагріву. Вони забезпечують ефективний та економічний підігрів води завдяки поєднанню різних джерел тепла — наприклад, гарячої води з котельні взимку та електричного ТЕНу в літній період.

3.2 Вибір схеми нагріву

Існує кілька різних методів нагріву води. Основні з них - проточний електричний водонагрівач, теплообмінник та теплова помпа. Проточний електричний водонагрівач - це найпростіший і порівняно недорогий спосіб

нагріву води в басейні. Він призначений для прогрівання безперервного потоку рідини з мінімальними перепадом тиску. Такий спосіб нагріву води вимагає великих затрат електричної енергії. Теплообмінник - пристрій, для передачі тепла від з одного середовища в інше. Теплова помпа - пристрій, який забезпечує нагрів води за рахунок відбору теплової енергії з навколишнього середовища.

Теплообмінник являє собою пристрій, для передачі тепла від одного середовища до іншого через розділяючу стінку. До його конструкції входять такі основні частини - кожух і змієвик, всередині якого знаходиться змієвик. Змієвик складається з трубок, які мають вигляд U-подібної форми. Теплообмінник працює за принципом рекуперативної передачі тепла від одного середовища до іншого. Тепло передається через стінки трубок змієвика. Теплообмінники такого типу називають бойлер непрямого нагріву.

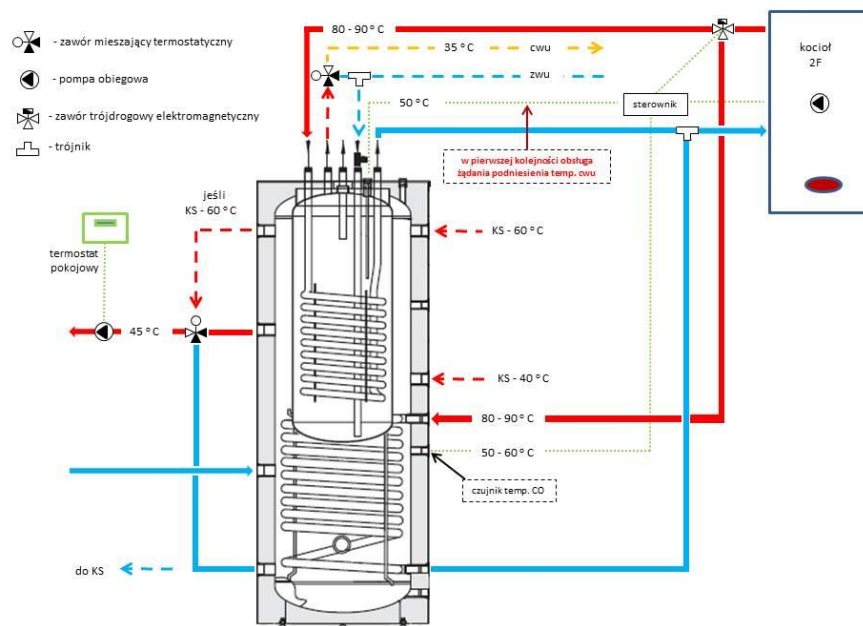


Рисунок 3.1 – Схема нагріву води

Бойлер непрямого нагріву - це ефективне і практичне рішення, він ідеально підходить при використанні в сезон опалення (зимовий час).

3.3 Розрахунок часу нагріву води

Розрахунок часу нагріву проводять виходячи з конструктивних особливостей нагрівального пристрою. Необхідно визначити теплотехнічні показники, розрахувати величину кількості теплоти теплоносія для передачі рекуперативним способом. За розрахунковими показниками витрати визначаємо розміри та ємності для нагріву води.

$$V = \frac{\pi d^2}{4} h, \quad \text{м}^3 \quad (3.1)$$

де, d і h відповідно діаметр та висота бака для нагріву води.

$$V = 3,14 \cdot \frac{0,6^2}{4} \cdot 1,3 = 0,367 = 367 \text{ л}$$

Вибираємо зі стандартного ряду бак об'ємом 350 літрів. Відповідно до санітарними нормами та правилами температура гарячої води загального вжитку для житлових будівель повинна становити $t = 50^\circ\text{C}$, не нижче. Визначення часу нагріву води проводимо на основі визначення величини кількості теплоти, що буде виділена паливом під час горіння та необхідну кількість теплоти для нагріву вказаного об'єму води до мінімальнодопустимої температури.

Кількість теплоти, що виділяється під час охолодження теплоносія .

$$Q = mC\Delta t. \quad (3.2)$$

$$Q = 28,56 \cdot 1,32(60 - 18) = 1583 \text{ Дж / год}$$

Для нагріву води, об'ємом $V=350\text{л}$ визначаємо коефіцієнт теплопередачі через стінки труби теплообмінника, з рівняння теплопередачі:

$$Q = kF\Delta t, \quad \text{кДж / кг} \cdot ^\circ\text{C} \quad (3.3)$$

де k – коефіцієнт теплопередачі стінки, $\text{Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$;

F – площа стінок бака, м^2 ;

Δt – різниця температури між гріючим і нагріваючим середовищем, $^\circ\text{C}$.

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (3.4)$$

де α_1 - коефіцієнт тепловіддачі води до внутрішньої стінки труби,

Вт/м² °К;

α_2 - коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої стінки труби до води,

Вт/м² °К;

δ – товщина шару стінки труби, м.;

λ – коефіцієнт теплопровідності стінки труби, Вт/м² °К;

Коефіцієнт теплопровідності α_1 і α_2 можна прийняти рівними

$\alpha_1=15$ Вт/м² °К;, $\alpha_2=6$ Вт/м² °К;

$$k = \frac{1}{\frac{1}{15} + \frac{0.006}{9.4} + \frac{1}{6}} = 1587 \text{ Вт / м}^2 \cdot ^\circ \text{C}$$

Розрахунок площі стінок теплообмінника:

$$F = \pi d \cdot l \text{ м}^2; \quad (3.5)$$

$$F = 3,14 \cdot 0,0225 \cdot 4,2 = 0,3.$$

$$Q = 1587 \cdot 0,3 \cdot 42 = 19,78.$$

Розрахунок кількості теплоти для нагріву розрахункового води:

$$Q_6 = m \cdot C(t_{\text{газ}} - t_{\text{вод}}), \text{ кДж}. \quad (3.6)$$

де m – маса води ($\rho = 1000$ кг/м³);

C – теплоємність води, кДж/кг·°С;

$T_{\text{газ}}$ – температура теплоносія, °С;

$t_{\text{вод}}$ – температура води в баці, °С.

$$Q = 350 \cdot 1.31(180 - 18) = 74.277 \text{ кДж}.$$

Розрахунок кількості теплоносія для нагріву води в бойлері:

$$m = \frac{Q_6}{Q_{\text{к.б.}}}, \text{ кг}. \quad (3.7)$$

$$m = \frac{395,8}{5,502} = 71,93$$

Розрахунок часу нагріву води:

$$t = \frac{Q_6}{mC(t_{\text{газ}} - t_{\text{нов}})}, \text{ с}; \quad (3.8)$$

$$t = \frac{5,502}{1,58} = 3,48 \text{ год.}$$

3.4 Вибір частотного перетворювача для системи водопостачання

Для забезпечення ефективного керування насосною установкою у системі гарячого водопостачання житлової будівлі доцільно застосовувати частотний перетворювач (VFD). Його функції полягають у забезпеченні плавного пуску, регулювання частоти обертання електродвигуна, зниженні споживання електроенергії та зменшенні гідравлічних ударів у трубопроводах.

Огляд доступних моделей VFD

Назва: Delta Electronics VFD-EL 0.7 кВт (VFD007EL21A)

- Живлення: 1-фаза, 230 В
- Потужність: 0,75 кВт
- Функції: AUTO, PID, захист двигуна, регулювання V/f

Ціна: 7 126 грн, призначення: Оптимально підходить для насосних систем малої потужності

Назва: VFD cw100 4 кВт

- Живлення: 3-фази, 380 В
- Потужність: 4 кВт
- Функції: Резерв по потужності, регулювання швидкості

• Ціна: 5 500 грн, призначення: З запасом для більших систем, нерационально для 0,75 кВт

Назва: VEVOR VFD 7,5 кВт

- Живлення: 3-фази, 380 В
- Потужність: 7,5 кВт
- Функції: Висока надійність, промислове застосування

- Ціна: 13 310 грн, призначення: Надлишкова потужність для розглядуваної системи

Обґрунтування вибору

Зважаючи на характеристики проєктованої системи та потужність насосної установки ($\approx 0,75$ кВт), найбільш доцільним вибором є частотний перетворювач Delta Electronics VFD-EL 0.7 кВт. Цей пристрій забезпечує усі необхідні режими керування, сумісний з однофазною мережею 230 В, має компактні розміри і вбудований PID-регулятор, що дозволяє реалізувати автоматичне регулювання тиску або витрати в системі.

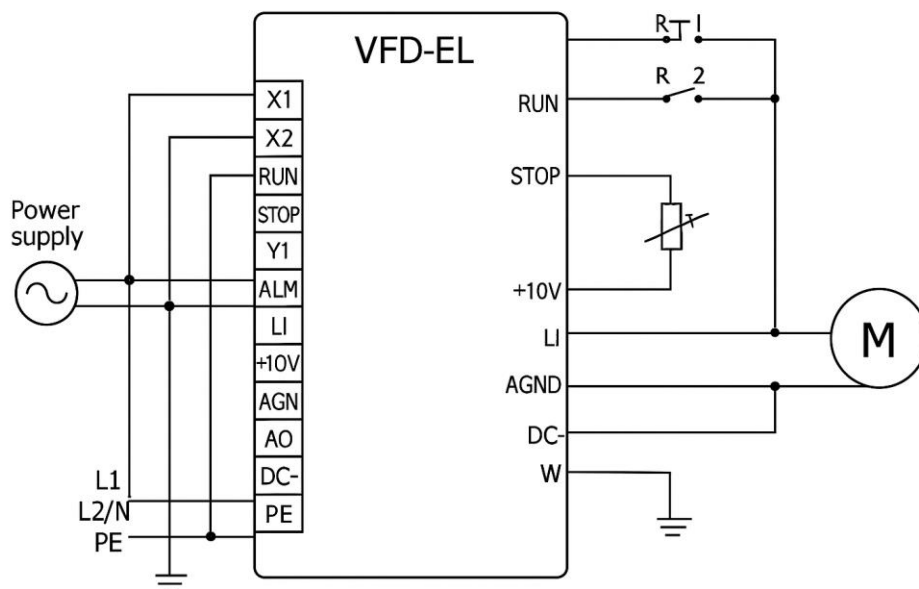


Рисунок 3.2 – Схема підключення частотного перетворювача

Частотний перетворювач серії Delta VFD-EL (модель VFD007EL21A) призначений для регулювання частоти живлення асинхронного електродвигуна та керування його швидкістю. Цей пристрій забезпечує енергоефективну роботу насосних установок у системах водопостачання.

3.5 Розрахунок параметрів частотного перетворювача

Основні етапи роботи:

Випрямлення напруги. Мережеве живлення змінного струму (230 В) випрямляється в постійний струм через вхідний діодний міст.

Фільтрація. Постійна напруга фільтрується за допомогою конденсаторів для формування стабільної DC-шини.

Інвертування. За допомогою IGBT-транзисторів і широтно-імпульсної модуляції (PWM) формується керована трифазна змінна напруга.

Керування двигуном. Вихідна частота змінюється в межах 0,1...600 Гц, що дозволяє регулювати оберти двигуна відповідно до потреб.

Функціональні можливості:

- Керування за V/f характеристикою;
- Вбудований PID-регулятор для підтримки тиску або витрати;
- Автоматичний запуск/зупинка;
- Функція "сплячого режиму" при досягненні заданих параметрів;
- Автоматичний перезапуск після знеструмлення;
- Захист від перенапруги, короткого замикання, перегріву, перевантаження.

Алгоритм роботи у системі водопостачання:

- Сигнал з датчика тиску або температури подається на аналоговий вхід VFD;
- Вбудований PID-регулятор обчислює відхилення від заданої уставки;
- Частотний перетворювач регулює оберти двигуна насоса відповідно до потреби;
- При досягненні уставки насос сповільнюється або вимикається.

При зниженні тиску насос знову активується й підвищує тиск у системі.

Висновок

Застосування перетворювача частоти Delta VFD-EL у системі гарячого водопостачання дозволяє реалізувати автоматизоване, енергоефективне та надійне керування насосною установкою з урахуванням реальних умов споживання води.

Для цього вмикається додатковий дросель, величина індуктивності якого визначається з виразу (1.46) та з врахуванням $L_{\text{тр}}$ і $L_{\text{я}}$

$$L'_{\text{др}} = \frac{BE_{\text{до}} \sin \alpha}{\omega_n I_{\text{хх}}} - (\chi L_{\text{тр}} + L_{\text{я}}), \quad (3.9)$$

де $B = \left(1 - \frac{\pi}{m_n} \operatorname{ctg} \frac{\pi}{m_n}\right)$ - коефіцієнт, який залежить від схеми ТП.

Таким чином, величина індуктивності дроселя розраховується за (1.36) та (1.47) і вибирається більша з них.

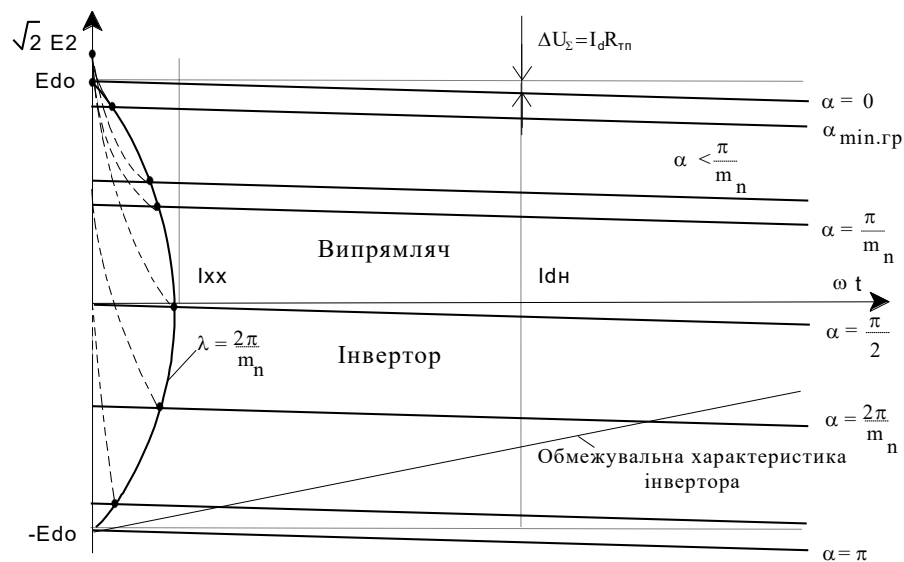


Рисунок 3.3 - Зовнішні характеристики тиристорного перетворювача

Слід відмітити, що справедливе при кутах $\alpha \geq \alpha_{\text{min.gr}}$, значення якого залежить від фазності ТП і складає величину $20^\circ 41'$ для $m_n=3$ та $10^\circ 05'$ для $m_n=6$. При менших кутах α можливий лише переривчастий режим струмів [4,13].

Як вже відмічалось вище, режим переривчастих струмів при роботі ТП на обмотку збудження виникає при кутах регулювання, більших від $\pi/2$, а саме при зміні кута α в межах $\pi/2 \leq \alpha \leq \alpha_{\text{max}}$. Максимальний кут α_{max} залежить від схеми ТП і визначається як $\alpha_{\text{max}} = \pi - \alpha_0 = \pi - \pi(m_n - 2)/2m_n$. Часові діаграми для цього випадку

зображені на рис.3.4. Виходячи з нього середнє значення випрямленої напруги на обмотці збудження в режимі переривчастих струмів буде таким

$$U_{d\alpha} = \frac{1}{2\pi/m_n} \int_0^\lambda \sqrt{2}E_2 \sin(\omega t + \alpha_0 + \alpha) d\omega t = \quad (3.10)$$

$$= \frac{E_{d0}}{2} [\cos(\alpha_0 + \alpha) - \cos(\lambda + \alpha_0 + \alpha)].$$

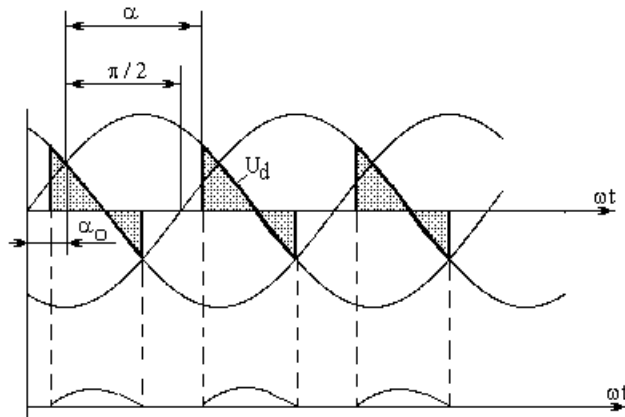


Рисунок 3.4 - Часові діаграми роботи тиристорного перетворювача

Необхідно знати λ для заданого кута α , а для цього потрібно мати вираз для знаходження миттєвих значень струму i_d , який можна отримати з диференційного рівняння для випрямленого струму, а саме

$$L \frac{di_d}{dt} + Ri_d = \sqrt{2}E_2 \sin(\omega t + \alpha_0 + \alpha), \quad (3.11)$$

де L , R – відповідно індуктивність та активний опір кола для випрямленого струму, включаючи параметри трансформатора та обмотки збудження.

Рішення цього рівняння має вигляд [12]

$$i_d = i_a = \frac{\sqrt{2}E_2}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} \left[\sin(\omega t + \alpha_0 + \alpha - \varphi) - \sin(\alpha_0 + \alpha - \varphi) e^{-\frac{R}{\omega L} \omega t} \right], \quad (3.12)$$

де $\varphi = \arctg \frac{\omega L}{R}$ - фазовий кут, який характеризує співвідношення між індуктивним та активним опором в колі навантаження.

Якщо в підставити $i_a = 0$ при $\omega t = \lambda$, то з нього знаходиться значення кута провідності вентилів λ для заданого кута регулювання $\alpha > 90^\circ$.

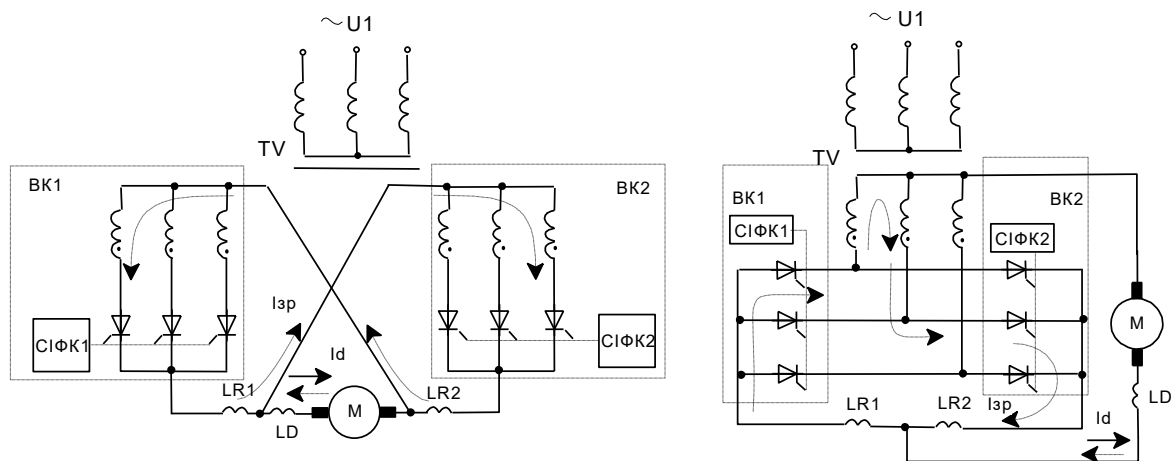


Рисунок 3.5 - Схеми реверсивних тиристорних перетворювачів виконаних за трифазною нульовою схемою

Побудова зовнішніх характеристик для випрямляючого режиму роботи.

Визначимо мінімальний і максимальний кути керування.

Кутова частота двигуна.

$$\omega_H := \frac{\pi \cdot n_H}{30} = \frac{\pi \cdot 1000}{30} = 104.72 \text{ c}^{-1};$$

Опір якоря двигуна.

$$R_{sum} := 0.45 \text{ Ом};$$

Стала двигуна

$$C := \frac{U_H - R_{sum} \cdot I_H}{\omega_H} = \frac{220 - 0.45 \cdot 165}{104.72} = 1.392;$$

Мінімальне значення випрямленої напруги:

$$U_{d.min} := I_H \cdot R_{sum} + C \cdot \frac{\omega_H}{D} = 165 \cdot 0.45 + 1.392 \cdot \frac{104.72}{100} = 75.708 \text{ В};$$

де $D = 100$ - Діапазон регулювання швидкості.

Максимальне значення випрямленої напруги:

$$U_{d.max} := U_m = 380 \text{ В}$$

Тоді

α_{min} значення кута регулювання буде дорівнювати:

$$\begin{aligned} \alpha_{min} &:= \arccos \left[\frac{U_{d.max} + \Delta U_a + I_H \cdot (K_x \cdot X_{mp})}{U_{d0}} \right] \cdot \frac{180}{\pi} \\ &= \arccos \left[\frac{380 + 2 + 165 \cdot (0.955 \cdot 0.067)}{253.324} \right] \cdot \frac{180}{\pi} = 57.614(\text{град}) = 1.006 \text{ рад} ; \end{aligned}$$

А

α_{max} значення кута регулювання буде дорівнювати:

$$\begin{aligned} \alpha_{max} &:= \arccos \left[\frac{U_{d.min} + \Delta U_a + I_H \cdot (K_x \cdot X_{mp})}{U_{d0}} \right] \cdot \frac{180}{\pi} = \\ &= \arccos \left[\frac{75.707 + 2 + 165 \cdot (0.955 \cdot 0.067)}{253.324} \right] \cdot \frac{180}{\pi} = 69.609(\text{град}) = 1.215 \text{ рад} ; \end{aligned}$$

Зовнішні характеристики:

$$\alpha_0 = 0;$$

$\chi = 2$ - для мостової трифазної схеми

$$I_d := 0,01 \dots I_H \quad X_{mp} := 0.067$$

Рівняння зовнішніх характеристик при різних кутах :

$$U_{d\alpha 0}(I_d) := U_{d0} \cdot \cos\left(\alpha_0 \cdot \frac{\pi}{180}\right) - \Delta U_a - I_d \cdot (K_x \cdot X_{mp} + \chi \cdot R_{mp});$$

$$U_{d\alpha min}(I_d) := U_{d0} \cdot \cos\left(\alpha_{min} \cdot \frac{\pi}{180}\right) - \Delta U_a - I_d \cdot (K_x \cdot X_{mp} + \chi \cdot R_{mp});$$

$$U_{d\alpha max}(I_d) := U_{d0} \cdot \cos\left(\alpha_{max} \cdot \frac{\pi}{180}\right) - \Delta U_a - I_d \cdot (K_x \cdot X_{mp} + \chi \cdot R_{mp});$$

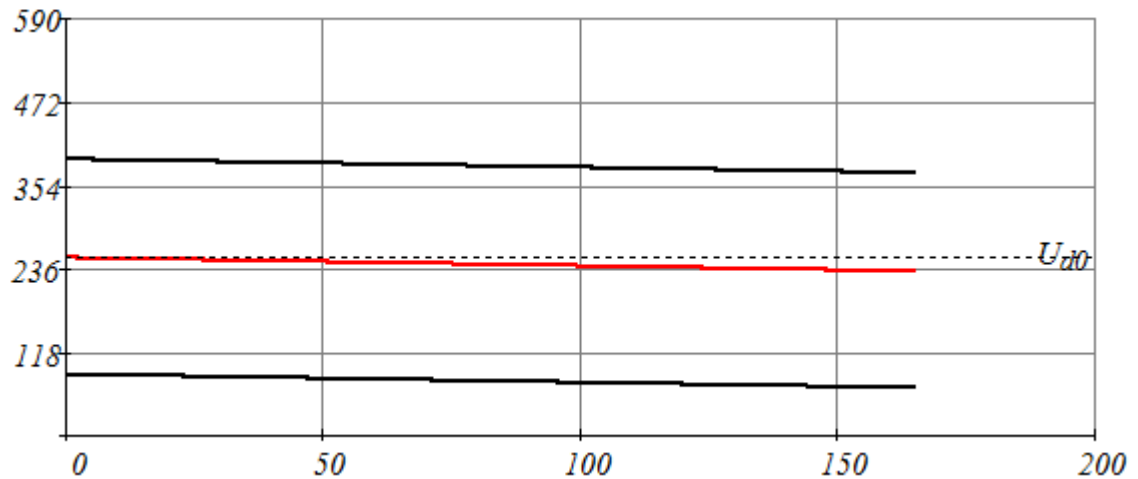


Рисунок 3.6 - Зовнішні характеристики ТП

Рівняння вхідних характеристик при різних кутах β :

$$U_{d\beta 0}(I_d) := U_{d0} \cdot \cos\left(\beta_0 \cdot \frac{\pi}{180}\right) + \Delta U_a + I_d \cdot (K_x \cdot X_{mp})$$

$$U_{d\beta min}(I_d) := U_{d0} \cdot \cos\left(\beta_{min} \cdot \frac{\pi}{180}\right) + \Delta U_a + I_d \cdot (K_x \cdot X_{mp})$$

$$U_{d\beta max}(I_d) := U_{d0} \cdot \cos\left(\beta_{max} \cdot \frac{\pi}{180}\right) + \Delta U_a + I_d \cdot (K_x \cdot X_{mp})$$

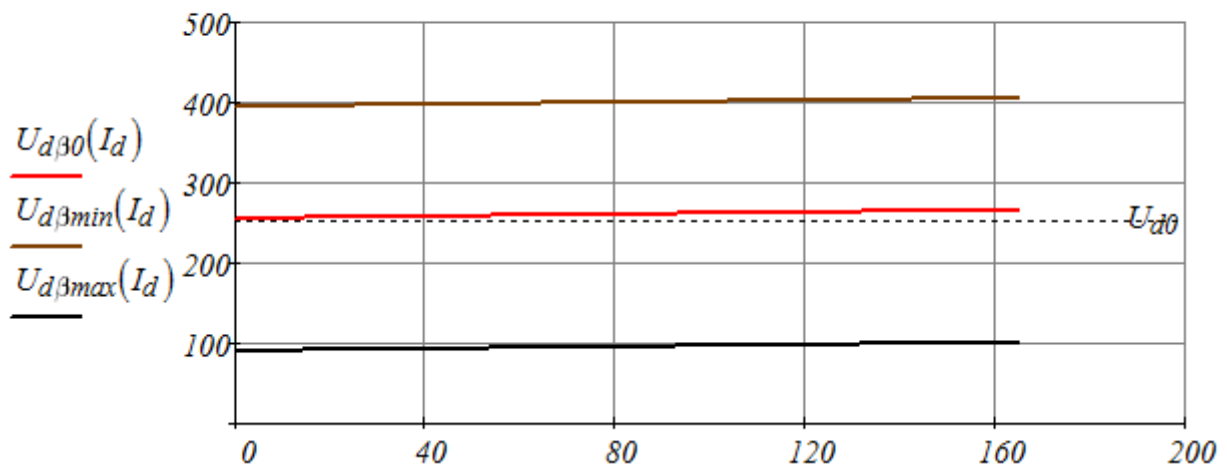


Рисунок 3.7 - Вхідні характеристики ТП

Побудова вхідних характеристик тиристорного перетворювача для інверторного режиму:

Згідно методичних вказівок приймаємо, що в режимі інвертора кути інвертування чисельно рівні кутам керування в режимі випрямляча.

$$\beta_0 := 0 \quad \beta_{min} := \alpha_{min} \quad \beta_{max} := \alpha_{max}$$

Побудова обмежувальної характеристики тиристорного перетворювача для інверторного режиму.

$$\delta := 1 \quad (\text{град})$$

$$\delta := 1 \cdot \frac{\pi}{180} \quad (\text{рад}) \quad + \quad \text{кут відновлення запірних властивостей вентиля}$$

Рівняння обмежувальної характеристики ТП:

$$\begin{aligned} U_{d\beta}(I_d) &:= U_{d0} \cdot \cos(\delta) - \frac{I_d \cdot X_{mp}}{2 \cdot \frac{\pi}{m \cdot q}} = \\ &= 253.324 \cdot \cos(\delta) - \frac{165 \cdot 0.067}{2 \cdot \frac{\pi}{3 \cdot 2}} = 242.729 \text{ В}; \end{aligned}$$

Розрахуємо мінімально допустимий кут інвертування $\beta_{min.dor}$ при граничному струмі, який рівний номінальному (за умовою):

$$I_{d\beta} := I_n = 165 \text{ А}$$

$$\beta_{min.dor} := \left(\arccos \left(\cos(\delta) - \frac{q \cdot I_{d\beta} \cdot X_{mp}}{U_{d0} \cdot \frac{\pi}{m}} \right) \right) \cdot \frac{180}{\pi};$$

$$\beta_{min.dor} := \left(\arccos \left(\cos(\delta) - \frac{2 \cdot 165 \cdot 0.067}{253.324 \cdot \frac{3.14}{3}} \right) \right) \cdot \frac{180}{\pi} = 23.586 (\text{град});$$

Вхідна характеристика ТП з кутом інвертування $\beta_{min.dor}$:

$$I_d := 0, 0.1 \dots 2 \cdot I_n$$

$$U_{d\beta I}(I_d) := U_{d0} \cdot \cos\left(\beta_{\min.dop} \cdot \frac{\pi}{180}\right) + I_d \cdot (K_x \cdot X_{mp});$$

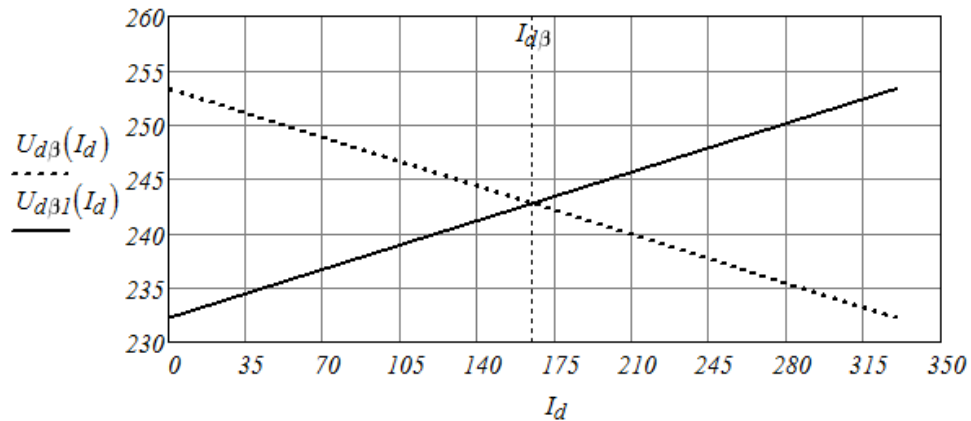


Рисунок 3.8 - Обмежувальна характеристика ТП

Розрахуємо кут комутації при номінальному навантаженні для різних кутів регулювання

Кут комутації при номінальному навантаженні для мінімального кута регулювання :

$$\begin{aligned} \gamma_{\min} &:= \arccos\left(\cos(\alpha_{\min}) - \frac{q \cdot I_n \cdot X_{mp}}{U_{d0} \cdot \frac{\pi}{m}}\right) - \alpha_{\min} = \\ &= \arccos\left(\cos(1.006) - \frac{2 \cdot 165 \cdot 0.067}{253.324 \cdot \frac{\pi}{3}}\right) - 1.006 = 0.096 \text{ (рад)}; \end{aligned}$$

Після проведених вище розрахунків отримуємо наступну передатну функцію тиристорного перетворювача:

$$W_{TP}(p) := \frac{k_{tp}}{T_{\mu} \cdot p + 1} \rightarrow \frac{44}{0.006333333333333332 \cdot p + 1}$$

Вибиремо із графіка відносну величину ефективного значення основної гармоніки випрямленої напруги: $e_n := 0.25$

$m_n := 6$ - кратність пульсацій напруги і струму.

$p_n := 2$ - кількість пар полюсів двигуна

$K := 0.2$ - емпіричний коефіцієнт для скомпенсованих двигунів

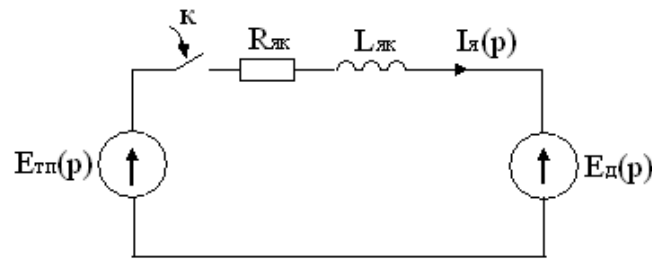


Рисунок 3.9 - Електрична схема заміщення якірного кола
($R_{жк}$ – опір якірного кола ТП – Д; $L_{жк}$ – індуктивність якірного кола ТП)

Індуктивність вторинної обмотки трансформатора:

$$L_{mp} := \frac{X_{mp}}{\omega_0} = \frac{0.067}{314.159} = 2.133 \times 10^{-4} \text{ (Гн)} ;$$

Індуктивність якоря двигуна:

$$L_{жк} := K \cdot \frac{U_H}{p \cdot \omega_H \cdot I_H} = 0.2 \cdot \frac{220}{2 \cdot 104.72 \cdot 165} = 1.273 \times 10^{-3} \text{ (Гн)} ;$$

Розрахуємо сталу часу якірного кола, яка підлягає компенсації :

$$\begin{aligned} R_{ак} &:= R_{mp} + R_{sum} & ; & & R_{ак} = 0.477 \text{ (Ом)} & ; \\ L_{ак} &:= L_{mp} + L_{жк} + L_{к\delta} & ; & & L_{ак} = 9.968 \times 10^{-3} \text{ (Гн)} & ; \end{aligned}$$

Стала часу силового кола системи ТП-Д :

$$T_a := \frac{L_{ак}}{R_{ак}} & ; & T_a = 0.021 \text{ (с)} ;$$

Принципова електрична схема ящика керування ЯГ5102 – 347Б1У2 (рис. 3.10) передбачає автоматичне управління за рівнем електронасоса в режимі «Водопідйому». Також станція передбачає місцеве та дистанційне керування електронасосом. Усі функції автоматичного управління, сигналізацію і захист електродвигуна від аварійних режимів виконує блок управління *EIFQ*.

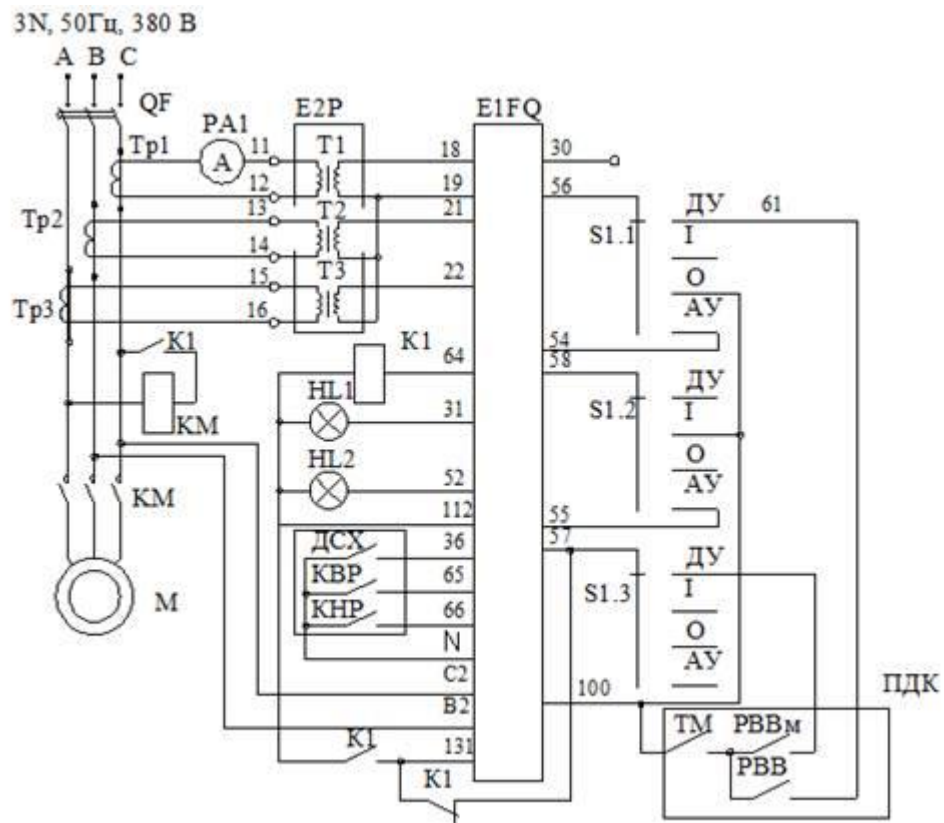


Рисунок 3.10 Принципова електрична схема системи керування

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Електробезпека в приміщенні

Для надійної електробезпеки приміщенні необхідно розрахувати заземлення. Для розрахунку заземлення задаються слідуючи ми умовами.

Грунт на місці мийки земля садова, кліматична зона №3. Додатково в якості заземлення використовувати природне заземлення фундаменту, з опором розтікання 9 Ом, уматеріал заземлювачів кутник №36 довжиною 20 м. Верхні кінці вертикальних кутників вкопані на глину 0,7 м і приварені до горизонтального електрода з такої ж сталі.

Приймаємо необхідне по ПУЕ (правила установки електрообладнання) допустимий опір заземлюю чого пристрою $R_{зм} = 0,4$ Ом.

Рекомендуючий для розрахунків опір землі у місці споруди заземлення, для землі садової $\rho = 50$ Ом·м [8].

Підвищуючий коефіцієнт для кліматичної зони №3 приймаємо $K_r = 2,2$ [8], для горизонтальних електродів при глибині залягання 0,8 м, і $K_v = 1,5$ для вертикальних електродів довжиною від 2 до 3 м при глибині залягання верхівок 0,5...0,8 м.

Розрахунковий питомий опір ґрунту:

– для горизонтального

$$\rho_{роз.г} = K_r \cdot \rho. \quad (4.1)$$

$$\rho_{роз.г} = 2,2 \cdot 50 = 110 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

– для вертикального

$$\rho_{роз.в} = K_v \cdot \rho. \quad (4.2)$$

$$\rho_{роз.в} = 1,5 \cdot 50 = 75 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Визначаємо опір розтікання одного вертикального електрода кутник №36, довжиною 2,5 м, глибиною занурення 0,7 м нижче рівня землі відповідно літератури [8]

$$R_{o.e.} = \frac{\rho_{poz.6}}{2\pi L} \left(\ln \frac{2L}{d} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4t+L}{4t-L} \right), \quad (4.3)$$

де $d=0,95 \cdot b$, b - ширина кутника $b = 3,6$ мм

$$t = \frac{1}{2}L + 0,7, L - \text{довжини кутники, } L = 2,5 \text{ м.}$$

$$d = 0,95 \cdot 0,036 = 0,342 \text{ м}$$

$$t = \frac{1}{2} \cdot 2,5 + 0,7 = 1,95 \text{ м}$$

$$R_{o.e.} = \frac{75}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,5} \left(\ln \frac{2 \cdot 2,5}{0,0342} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot 1,95 + 2,5}{4 \cdot 1,95 - 2,5} \right) = 25,35 \text{ Ом.}$$

Визначаємо приблизне число вертикальних заземлювачів при попередньо прийнятому коефіцієнті $K_{н.6} = 0,58$ [8].

$$n = \frac{R_{o.6.c.}}{K_{н.6} \cdot R_{н}},$$

де $R_{н}$ опір природного заземлювача, $R_{н} = 4$ Ом.

$$n = \frac{25,35}{0,58 \cdot 4} = 10,9 \text{ шт}$$

Визначаємо коефіцієнт розтікання горизонтального електрода (кутник №36) приварених до верхівок кінців вертикальних електродів.

При коефіцієнті використання горизонтального електрода $K_{6.2.c.} = 0,74$ [8]

$$R_{r.e} = \frac{\rho_r}{K_{6.2.c.} \cdot 2\pi L} \ln \frac{2 \cdot L^2}{b \cdot t}. \quad (4.4)$$

$$R_{r.e} = \frac{110}{0,74 \cdot 23,14 \cdot 20} \ln \frac{2 \cdot 20^2}{0,036 \cdot 0,7} = 12,26 \text{ Ом.}$$

Уточнюємо необхідний опір вертикальних електродів з врахуванням провідності горизонтальних з'єднувальних електродів.

$$R_{6.e} = \frac{R_{o.2.e} \cdot R_{н}}{R_{o.2.e} - R_{н}}. \quad (4.5)$$

$$R_{6.e} = \frac{12,26 \cdot 4}{12,26 - 4} = 5,94 \text{ Ом}$$

4.2 Розрахунок освітлення

Для освітлення вибираємо світильники типу ОД 2-80. параметри світильника заносимо в таблицю 4.1.

Таблиця 4.1 - Параметри світильника.

Тип	Коротка характеристика	Число ламп	Потуж., кВт	Напруга, В	Розміри, мм			ККД, %	Маса кг
					Довжина	Ширина	Висота		
ОД 2-80	Підвісний прямого світла, дифузійний повного відбиття	2	0,80	220	152	260	198	72	12

Розрахунок кількості світильників та місця їх розташування.

Розрахунок проводимо по методу коефіцієнта використання світлового потоку.

Приймаємо висоту підвісу світильника, $h_{ni\partial} = 2,4$ м.

Визначаємо відстань між світильниками в ряду:

$$L_a = \lambda_a \cdot h_{ni\partial}, \quad (4.6)$$

де $\lambda_a = 2,6$ [4]

$$L_a = 2,6 \cdot 2,412 = 6,27 \text{ м}$$

Приймаємо $L_a = 6$ м [4]

Визначаємо число світильників в ряду

$$h_a = \frac{A}{L_a}, \quad (4.7)$$

де A – довжина приміщення, $A=24,04$ м

$$h_a = \frac{24,04}{6} = 4,006 \text{ шт.}$$

Приймаємо $h_a = 4$ шт.

Визначаємо кількість рядів світильників:

$$h_{\epsilon} = \frac{B}{L_{\epsilon}}, \quad (4.8)$$

де B – ширина приміщення, $B = 3,81$ м;

L_g - відстань між світильниками, $L_g = 2$ м.

$$h_g = \frac{3,81}{2} = 1,9.$$

Приймаємо значення $h_g = 2$ ряди.

Визначаємо сумарну кількість світильників за формулою:

$$N = h_g \cdot h_a. \quad (4.9)$$

$$N = 2 \cdot 4 = 8 \text{ шт.}$$

За довідниковими даними вибираємо коефіцієнт запасу $K=1,5$ та коефіцієнт мінімальної освітленості $Z= 1,1$ [4].

Розраховуємо світловий потік за формулою

$$\Phi = \frac{E_{min} \cdot K \cdot S \cdot Z}{N \cdot \eta}, \quad (4.10)$$

де E_{min} - мінімальна допустима освітленість, $E_{min} = 20$ лк; S - площа приміщення, $S=91,6$ м²; η - коефіцієнт використання світлового потоку, $\eta=0,38$.

$$\Phi = \frac{20 \cdot 1,5 \cdot 91,6 \cdot 1,1}{8 \cdot 0,38} = 994,34 \text{ лм.}$$

По довіднику вибираємо найближчу лампу по світловому потоку, який дещо перевищує розрахунковий.

Вибираємо лампу ЛБР 20 потужністю 20 Вт, номінальний світловий потік 1050 Лм.

Світловий потік прийнятої лампи повинен бути в таких межах

$$\Phi_{л} = (0,9 \dots 1,2) \Phi = (894,9 \dots 1193) \text{ лм}$$

Умова виконана. Лампа вибрана вірно.

4.3 Розрахунок захисту від блискавки

Для захисту від прямих ударів блискавки служать стержневі блискавковідводи. Стержневі блискавковідводи зазвичай застосовують для захисту зосереджених об'єктів.

Захисні властивості стержневого блискавквідводу (рис.5.1) характеризується зоною захисту, під якою розуміють простір навколо блискавквідводу, де враження захисного об'єкта атмосферним розрядом малоймовірна

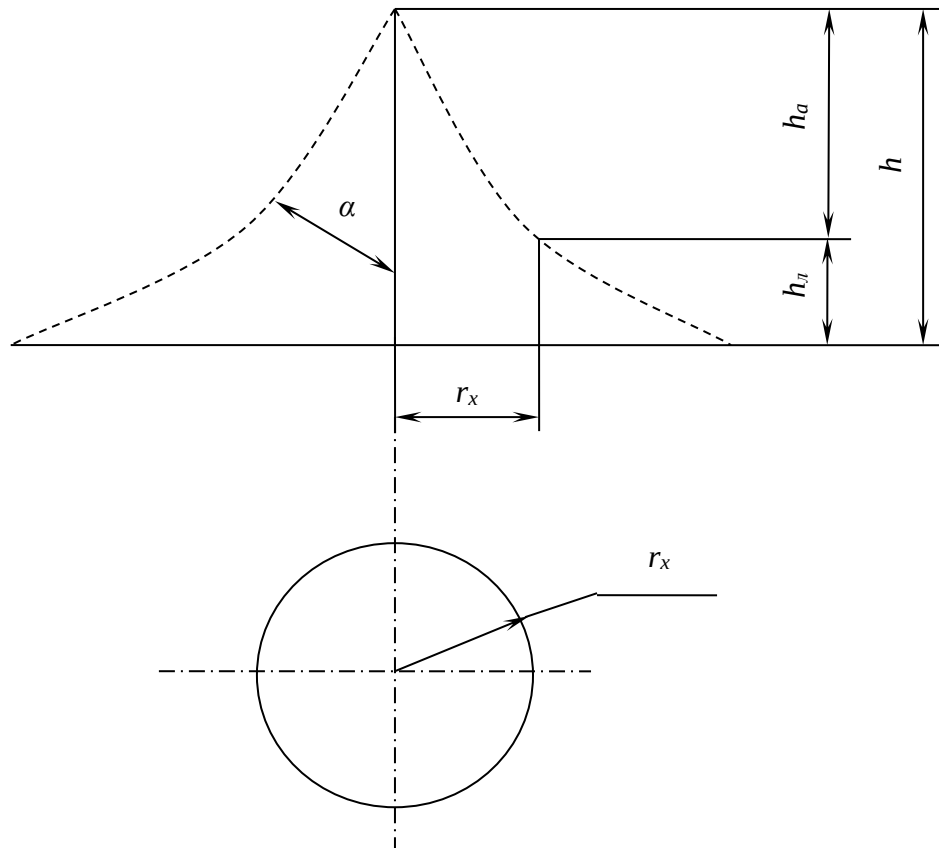


Рисунок 4.1 - Схема стержневого блискавквідводу.

Радіус захисту r_x одиночного стержневого блискавквідводу висотою не менше 30 м визначають по формулі

$$r_x = 1,6 \cdot h \frac{h - h_x}{h + h_x}, \quad (4.11)$$

де h - повна висота блискавквідводу, приймаємо $h = 10$ м; h_x - висота захисного об'єкта, $h_x = 4,01$ м.

$$r_x = 1,6 \cdot 10 \frac{10 - 4,01}{10 + 4,01} = 6,8 \text{ м}$$

Захисна дія одиночного блискавквідводу характеризується коефіцієнтом захисту K_z :

$$K_x = tg \alpha = \frac{r_x}{r_a}, \quad (4.12)$$

де r_a - активна висота блискавковідводу, $r_a = 5,99$ м.

4.4 Охорона довкілля при використанні водних ресурсів

Господарство споживає воду із свердловини глибиною 50 метрів. Вода накопичується в башті, ємність якої становить 150 м³ води. Закачується вона за допомогою заглибного насосу і по трубопроводу подається до споживачів. Дана вода відповідає всім санітарно-гігієнічним нормам і використовується як для споживання, так і для виробничих процесів в господарстві. Після використання вода очищується за допомогою спеціальних фільтрів і потім проходить оборотне водопостачання. Вода - найбільш розповсюджена і найбільш важлива речовина на Землі. Особливим видом забруднення гідросфери є теплове забруднення, яке спричинене спуском у водойми теплих вод. Величезна кількість тепла, що надходить з нагрітими водами в озеро, істотно змінює їх термічний і біологічний режим. Рівень очистки води в підприємстві досить низький. Існуючі очисні споруди навіть при біологічній очистці виловлюють лише 10 – 40% неорганічних речовин і практично не виловлюють самих важких металів.

В господарстві існує ряд способів очистки забруднених вод: хімічний, біологічний, механічний. Метод механічного очищення полягає в хімічному вилученні із стічних вод нерозчинених домішок за допомогою фільтраційних установок. Хімічний метод очищення ґрунтується на поверхні різноманітних хімічних реакцій, які нейтралізують шкідливі речовини. У даному випадку для господарства повинні забезпечуватися такі вимоги: стоки та каналізація повинні відповідати встановленим вимогам санітарно-гігієнічних норм. Потрібно вчасно проводити дезінфекцію стоків від патогенних мікроорганізмів і гельмінтів перед внесенням його на поля.

Необхідно більше приділяти уваги охороні вод від забруднення, розробляти схеми комплексного використання і охорони вод.

5 РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЕКТУ

Оцінку економічної ефективності застосування системи управління перетворювачем частоти на основі адаптивного способу управління перетворювачем частоти можна провести за методикою оцінки економічної ефективності агроінженерних проектів [18]. Вибір найкращого варіанта здійснюється на підставі порівняння технікоекономічних показників з пристроєм, що вже випускається, який схожий за своїми характеристиками і виконує подібні функції. Вибір пристроїв для порівняння подібних варіантів ШІМ-перетворювачів проводиться на основі патентного пошуку та вивчення літературних джерел з цієї тематики. Як варіанти пристроїв для порівняння характеристик повинні вибиратися такі пристрої, техніко-економічні характеристики яких перебувають на рівні або перевершують сучасні кращі світові досягнення.

Для житлового будинку з постійним щоденним водоспоживанням протягом року оновлено розрахунки з урахуванням актуального тарифу на електроенергію — 4,32 грн/кВт·год. Використано типове середньодобове споживання та річну кількість днів — 365.

Таблиця 5.1 – Вихідні дані для розрахунку

Показник	Позначення	Значення
Річне споживання до модернізації	E_1	35000 кВт·год
Річне споживання після модернізації	E_2	14850 кВт·год
Ціна електроенергії	C	4.32 грн/кВт·год
Середньодобове споживання води	Q	2.5 м³/день
Кількість днів у році	D	365
Капіталовкладення	K	165000 грн

Основними статтями видатків є: - основна та додаткова заробітна плата виробничих робітників; - єдиний соціальний податок; - витрати на споживання електроенергії; - витрати на сировину та матеріали; - витрати на комплектуючі вироби; - витрати на утримання та експлуатацію обладнання.

Розрахунки

1. Річна вартість електроенергії до модернізації:

$$B_1 = E_1 \times C = 35000 \times 4.32 = 151200.00 \text{ грн} \quad (5.1)$$

2. Річна вартість електроенергії після модернізації:

$$B_2 = E_2 \times C = 14850 \times 4.32 = 64152.00 \text{ грн} \quad (5.2)$$

3. Щорічна економія електроенергії:

$$\Delta B = B_1 - B_2 = 151200.00 - 64152.00 = 87048.00 \text{ грн} \quad (5.3)$$

4. Собівартість 1 м³ гарячої води:

$$S = B_2 / (Q \times D) = 64152.00 / (2.5 \times 365) = 70.30 \text{ грн/м}^3 \quad (5.4)$$

5. Термін окупності капіталовкладень:

$$T = K / \Delta B = 165000 / 87048.00 = 1.90 \text{ років} \quad (5.5)$$

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

Висновки

- У ході виконання проєкту було проведено повний техніко-економічний аналіз існуючої системи гарячого водопостачання житлової будівлі з урахуванням її особливостей, а саме: триповерхова структура, наявність шести квартир із підключенням до артезіанської свердловини та дахової котельні.
- Сучасна система потребує модернізації з метою підвищення ефективності, зменшення теплових та енергетичних втрат, а також забезпечення стабільного температурного режиму гарячої води для мешканців будинку.
- Вибрано оптимальну схему гарячого водопостачання з бойлером непрямого нагріву та циркуляційним насосом, який забезпечує рівномірну подачу води до усіх точок водорозбору.
- Розраховано необхідні витрати води та гідравлічні параметри системи, підібрано оптимальні діаметри трубопроводів, що дозволяє уникнути надмірних втрат тиску та забезпечити необхідну швидкість потоку.
- Обрано енергоефективне насосне обладнання та частотний перетворювач, що дозволяє зменшити споживання електроенергії майже вдвічі.
- Проведено економічний аналіз, який показав, що впровадження запропонованої системи дозволяє зменшити витрати на електроенергію на понад 50% та забезпечити термін окупності капіталовкладень менш ніж за 2 роки.

Пропозиції

- Рекомендується впровадження системи регульованої циркуляції з використанням частотного перетворювача для адаптації витрати енергії до реальних потреб споживання гарячої води.
- Запровадити погодне регулювання подачі теплоносія до бойлера, що дозволить підвищити комфорт та зменшити теплові втрати у міжсезоння.
- Організувати періодичне технічне обслуговування обладнання, зокрема насоса, бойлера та елементів автоматики, з метою підтримання стабільної роботи системи.
- Передбачити можливість віддаленого моніторингу параметрів системи (тиску, температури, роботи насоса), що особливо актуально в багатоквартирному житловому фонді.