МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ім. ПОТЕБНІ Ю.М.

Електричної інженерії та кіберфізичних систем
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота

перший (бакалаврський) рівень
(рівень вищої освіти)

на тему Підвищення ефективності роботи насосної станції в системі опалення житлових приміщень

Виконав: студент 4 курсу, групи 6.1410-з
спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код і назва спеціальності)
спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)
освітньої програми Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Покровська Л.С.

Керівник проф. Артемчук В.В.

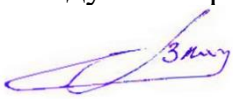
Консультант _____

Запоріжжя

2024 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерний навчально-науковий інститут ім. Потебні Ю.М.

Кафедра____Електричної інженерії та кіберфізичних систем_____
Рівень вищої освіти____перший (бакалаврський)_рівень_____
Спеціальність _141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка_
(код та назва)
Спеціалізація _____
(код та назва)
Освітня програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
д.т.н., доц.  В.Л. Коваленко
"_20_"___травня__2024 року

З А В Д А Н Н Я
на кваліфікаційну роботу студенту

_____ Покровській Лідії Сергіївні_____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема бакалаврської роботи Підвищення ефективності роботи насосної станції в системі опалення житлових приміщень

керівник роботи _____проф. Артемчук В.В. _____
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
Затверджені наказом ЗНУ від «_26_»_грудня__2023__року №_2212 - с_____
2. Строк подання студентом роботи: 20 травня 2024 року___
3. Вихідні дані бакалаврської роботи Потужність основного обладнання та режими роботи; поточний тариф за 1 кВттод. електроенергії

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) _____
Вступ; загальна характеристика об'єкту та технологічного процесу; _____
аналіз споживання енергоресурсів; пропозиції щодо зниження втрат _____
електроенергії насосною станцією.

5. Перелік графічного матеріалу (лише у якості рекомендації): загально-технічна частина; схема електропостачання об'єкту; автоматизація системи опалення

6. Консультанти розділів дипломної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання прийняв	Завдання прийняв
Розділ 1	Артемчук В.В., проф.		
Розділ 2	Артемчук В.В., проф.		
Розділ 3	Артемчук В.В., проф.		
Нормоконтроль	Бандуренко І.І, асистент		

7. Дата видачі завдання 30.12.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Електричне опалення об’єктів	01.03.24	
2	Аналіз електропостачання об’єктів	01.04.24	
3	Визначення параметрів системи опалення	01.05.24	

Студент _____ (підпис) Покровська Л.С. (прізвище та ініціали)

Керівник/консультант роботи _____ (підпис) Артемчук В.В. (прізвище та ініціали)

Нормоконтролер _____ (підпис) Бандуренко І.І. (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Покровська Л.С. Підвищення ефективності роботи насосної станції в системі опалення житлових приміщень.

Дипломна робота для здобуття ступеня вищої освіти бакалавра за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, науковий керівник Артемчук В.В. Запорізький національний університет, Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні., кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем, 2024 рік.

У роботі проаналізовано способи опалення житлових будинків за допомогою електричної енергії. Розраховано систему електропостачання об’єкта та проведено вибір необхідного електричного обладнання. Визначено раціональну систему опалення для об’єкта, розраховано тепловтрати в системі опалення. Розглянуто автоматизовану систему опалення житлового будинку.

Ключові слова: електрична енергія; потужність електричної енергії; втрати електричної енергії, втрати потужності, опалення, електропостачання.

ЗМІСТ

ВСТУП 6
1 ЕЛЕКТРИЧНЕ ОПАЛЕННЯ ОБ’ЄКТІВ 7
1.1 Аналіз доцільності використання електроопалення 7
1.2 Аналіз способів електроопалення об’єктів 15
2 АНАЛІЗ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ОБ’ЄКТІВ 12
1.3 Елементи проектування та розподілу електроенергії 12
1.4 Розрахунок освітлення методами питомої потужності та точковим методом 15
1.5 Визначення допустимих втрат напруги в електричній мережі 31
1.6 Розрахунок струмів короткого замикання 34
3 ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ 41
1.7 Втрати в системі опалення 49
1.8 Моделювання системи опалення приміщення 52
1.9 Автоматизація системи керування 56
ВИСНОВКИ 61
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ 62
ДОДАТОК А. 64

ВСТУП

Сучасна система опалення та наявність гарячої води у будинку є невід'ємними елементами забезпечення комфортних умов проживання та ефективної експлуатації будівлі. Для досягнення оптимальної роботи системи необхідно враховувати численні фактори: вхідну напругу, потужність, площу будинку, а також частоту можливих збоїв в електромережі. Ці аспекти мають вирішальне значення при виборі та поєднанні компонентів системи. Від правильності вибору комплектуючих залежить не тільки початкові витрати, але й майбутні експлуатаційні витрати.

Стрімкий розвиток галузі опалення обумовлений зростаючим попитом на енергоефективні рішення. Електричні системи опалення демонструють високий рівень збалансованості та ефективності, що робить їх найбільш перспективними на сучасному ринку технологій опалення.

Об’єктом дослідження є система опалення двоповерхового житлового будинку. Предметом дослідження виступають засоби автоматизації системи опалення цього будинку.

Метою даної дипломної роботи є підвищення енергоефективності двоповерхового житлового будинку шляхом впровадження автоматизованої системи опалення.

Загальний розвиток технологій у сфері енергозбереження та автоматизації відкриває нові можливості для підвищення енергоефективності житлових будинків. Реалізація автоматизованих систем опалення дозволяє значно зменшити витрати на енергоресурси та підвищити комфорт проживання. Виконання поставлених завдань забезпечить комплексний підхід до створення ефективної системи опалення двоповерхового житлового будинку. Дана робота має практичний потенціал, спрямований на покращення енергоефективності житлових будинків через впровадження інноваційних технологій автоматизації.

1 ЕЛЕКТРИЧНЕ ОПАЛЕННЯ ОБ'ЄКТІВ

1.1 Аналіз доцільності використання електроопалення

На даний час, коли росія вторглась до нашої країни і проводить терористичні атаки на об'єкти інфраструктури нашої країни, безумовно, використання електроенергії є проблематичним. Більш того, прив'язка до лише одного джерела енергії зараз є недоліком. У той же час, після нашої перемоги Україна зможе відновити і наростити свої електроенергетичні потужності. Тому дана робота є скоріш поглядом на перспективу, на майбутнє. Крім того, треба враховувати, що з часом буде збільшуватися частка енергії, яка генеруватиметься відновлювальними джерелами енергії, що зробить розглядувану систему більш енергонезалежною. Тож, використання електричної енергії для опалення може бути особливо доцільним у якості додаткового джерела тепла в місцях з нерегулярною потребою в обігріві, наприклад, у заміських приватних будинках. Експерти рекомендують застосовувати електричне опалення у районах, де відсутні інші комунікації, такі як центральне опалення або газопостачання.

Електричне опалення представляє собою перспективний варіант для забезпечення теплом житлових будинків, особливо в умовах обмеженого доступу до традиційних джерел теплопостачання. Однак, враховуючи особливості виробництва і транспортування електроенергії, його використання найдоцільніше в будівлях з нерегулярною потребою в опаленні або як додаткове джерело тепла. Правильний вибір і монтаж обладнання, а також врахування тарифних особливостей, можуть суттєво підвищити економічну ефективність електричних систем опалення.

Основні переваги електричних систем опалення включають компактні розміри обладнання та відсутність потреби у дорогому додатковому устаткуванні. Крім того, електричні системи опалення характеризуються невеликими витратами на обслуговування. Проте, незважаючи на ці

практичні вигоди, економічна ефективність використання електроенергії для опалення є відносно невисокою.

Виробництво електроенергії шляхом спалювання викопного палива супроводжується значними втратами енергії при її перетворенні на електричну. Додаткові втрати виникають під час транспортування електроенергії до кінцевого споживача. Таким чином, використання електроенергії для опалення не рекомендується для будівель з постійною експлуатацією.

Українське законодавство дозволяє отримання електроенергії за фіксованою ціною в опалювальний сезон для стаціонарних систем опалення в межах розподілу (до 5000 кВт/год). Крім того, при використанні тризонних лічильників вартість електроенергії може суттєво відрізнятися залежно від часу доби: висока ціна електроенергії в пікові періоди навантаження електричних мереж і низька в нічний час.

1.2 Аналіз способів електроопалення об’єктів

Стрімкий розвиток електричного опалення призводить до появи нових ідей щодо спрощення, оптимізації та покращення факторів енергоефективності. Сучасні тенденції в цій галузі відкривають перспективи для впровадження нових методів електроопалення. Основні та найпоширеніші з них включають:

1) Електричні котли із ТЕНами або електродні котли з такими перевагами:

- низька вартість;
- компактність;
- швидка установка;
- можливість нагріву теплоносія до високих температур;
- сумісність з різними радіаторами та системами водяного підлогового опалення.

До недоліків можна віднести:

- велике споживання електроенергії;
- можливість недосконалого автоматичного управління;
- потреба у регулярній заміні нагрівальних елементів;
- необхідність у трьохфазному електропостачанні;

2) Інфрачервоні обігрівачі мають такі переваги:

- простота установки та доступна ціна;
- можливість тимчасового обігріву;
- різноманітність монтажних варіантів (настінний, підлоговий, стельовий);
- спрямоване випромінювання;
- декілька рівнів потужності.

До недоліків відносять:

- обмежений обігрів приміщення;
- обмежений діапазон потужності;
- одностороннє нагрівання предметів з подальшим конвекційним нагріванням навколишнього повітря;
- підходить для локального або стрічкового обігріву в приміщеннях або на робочих місцях.

3) Електричні конвектори та радіатори з такими перевагами:

- простий монтаж;
- можливість підбору моделей з різною потужністю для кожного приміщення;
- компактний дизайн;
- можливість налаштування за допомогою вбудованих або зовнішніх термостатів.

Недоліки:

- високе енергоспоживання навіть при програмованих режимах роботи;
- великі навантаження на мережу;

- необхідність встановлення окремого конвектора або декількох для обігріву кожного приміщення в будинку;
- при високих стелях тепло піднімається вгору, що може знижувати ефективність обігріву;
- часто можливе перевищення виділеної на квартиру або будинок потужності.

Тобто, різноманіття способів електричного опалення дозволяє вибрати оптимальний варіант для конкретних умов експлуатації. Електричні котли, інфрачервоні обігрівачі, електричні конвектори та радіатори мають свої переваги і недоліки, що потрібно враховувати при плануванні системи опалення. Правильний вибір і використання обладнання допоможуть забезпечити комфортне проживання і оптимальні витрати на енергію.

4) Електрокабельний обігрів має такі переваги:

- можливість налаштування розрахункової потужності відповідно до обсягу приміщення та типу покриття підлоги;
- варіативність вибору між кабелем, електричними матами або плівковим обігрівом;
- комфортний обігрів підлоги та простору над підлогою;
- програмовані режими за допомогою датчиків повітря та підлоги;
- можливість монтажу під будь-яким типом покриття підлоги;
- зручне керування електронними програматорами або віддалено через Інтернет.

До недоліків можна віднести:

- необхідність достатньої товщини для укладання кабелю та бетонної стяжки або нагрівальних матів і покриття;
- потреба високої кваліфікації для розрахунку та укладання теплої підлоги;
- високі енерговитрати на опалення;
- ризик пошкодження ізоляції кабелю під час ремонтних робіт у

будинку;

- значна потужність, що споживається від підстанції.

Цікавим рішенням може бути кондиціонери з функцією обігріву, до переваг яких можна віднести:

- реверсивні моделі кондиціонерів з інверторним керуванням можуть як охолоджувати, так і обігрівати приміщення або суміжні кімнати;
- спрямований потік повітря.

А до недоліків відносять:

- недостатня потужність під час пікових навантажень;
- необхідність встановлення окремих блоків кондиціонерів в кожній кімнаті;
- можливий шум вентиляторів зовнішнього та внутрішнього блоків.

Таким чином, було розглянуто

2 АНАЛІЗ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ОБ'ЄКТІВ

2.1 Елементи проектування та розподілу електроенергії

У даній роботі розглядається автоматизація системи опалення житлового приватного будинку з площею 200 м^2. Для цього слід відзначити особливості підключення до енергосистеми. Підключення до енергосистеми відбувається шляхом приєднання основних комунікацій до загальної комунальної електричної мережі, яка постачає електроенергію від центрального джерела до будинків через систему електропроводки (рис. 2.1).

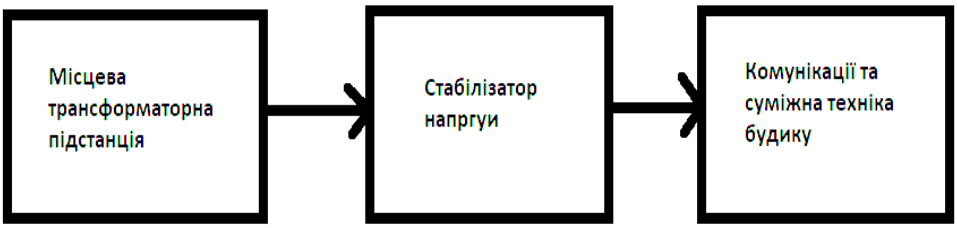


Рисунок 2.1 – Схема підключення об'єкту до енергосистеми

Згідно з проектом електропостачання об'єкту, початковою ланкою є місцева трансформаторна підстанція. Після цього електрична енергія поступає на заздалегідь встановлений стабілізатор напруги, що забезпечує захист приладів та побутової техніки від можливих перепадів і скачків напруги. У будинку, у гаражному приміщенні, встановлений автоматичний вимикач (рис. 2.2 та 2.3).

Схема розподілу електроенергії в будинку включає наступні компоненти:

1) місцева трансформаторна підстанція перетворює високовольтну електроенергію на низьковольтну для побутового використання та забезпечує стабільне та безперебійне постачання електроенергії,

використовуючи стабілізатор напруги, встановлений після трансформаторної підстанції та зменшує ризики пошкодження електроприладів через нестабільну напругу.

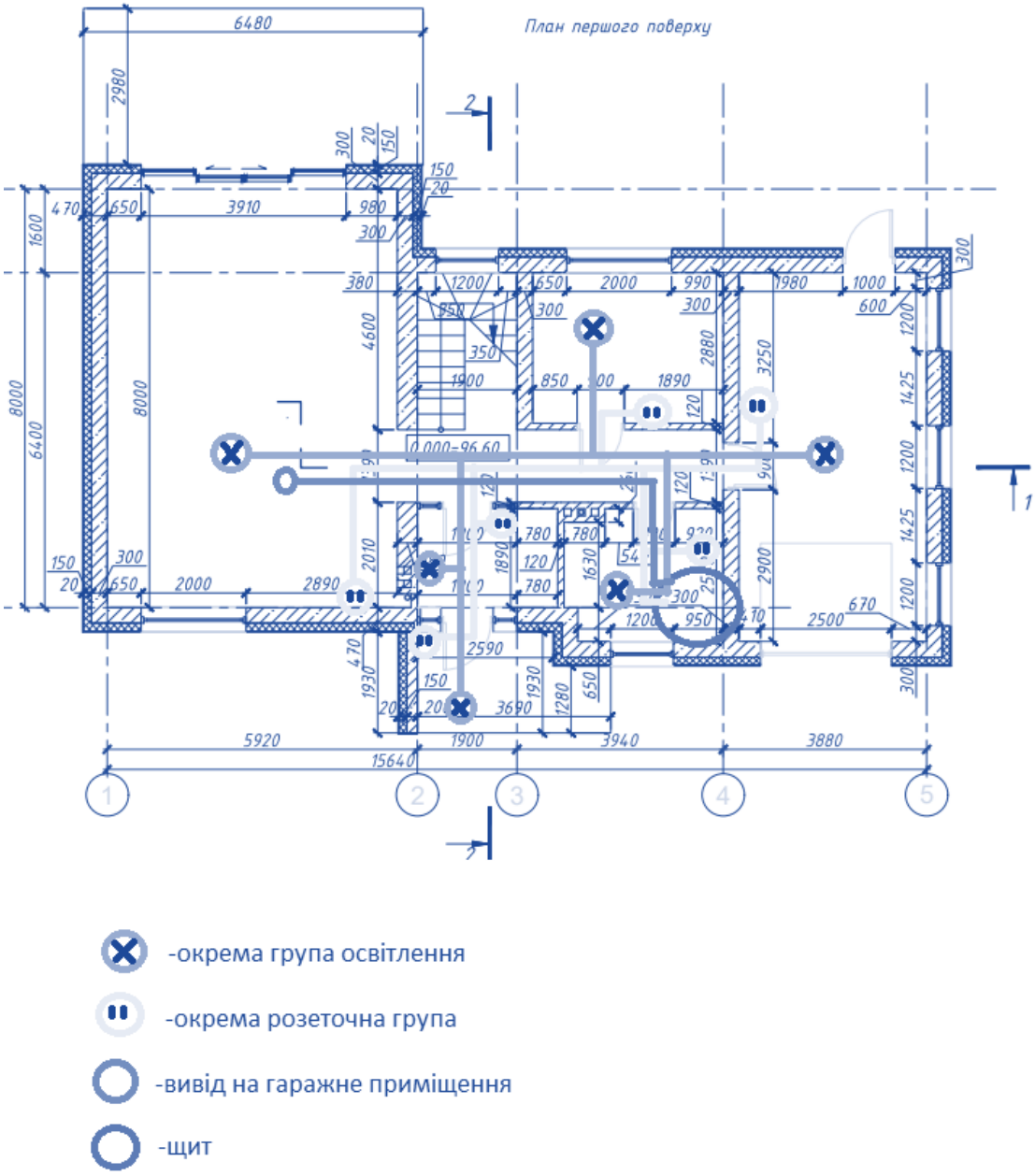


Рисунок 2.2 – Схема розподілу електроенергії в будинку (перший поверх)

2) Автоматичний вимикач розташований у гаражному приміщенні будинку. Він забезпечує захист електромережі від коротких замикань та перевантажень та дозволяє швидко вимкнути електропостачання у випадку аварії або необхідності проведення ремонтних робіт.

3) Система електропроводки включає розподільчу коробку та магістральні кабелі, що забезпечують електропостачання всіх приміщень будинку. Відповідно до сучасних стандартів, електропроводка виконана з використанням мідних кабелів з надійною ізоляцією.

4) Захисне заземлення є обов'язковим елементом системи електропостачання та захищає користувачів від ураження електричним струмом у разі несправності електроприладів.

Проект електропостачання будинку враховує всі необхідні вимоги для забезпечення безпечної та ефективної роботи системи. Використання стабілізаторів напруги та автоматичних вимикачів гарантує захист обладнання і побутової техніки від можливих технічних несправностей та аварійних ситуацій.

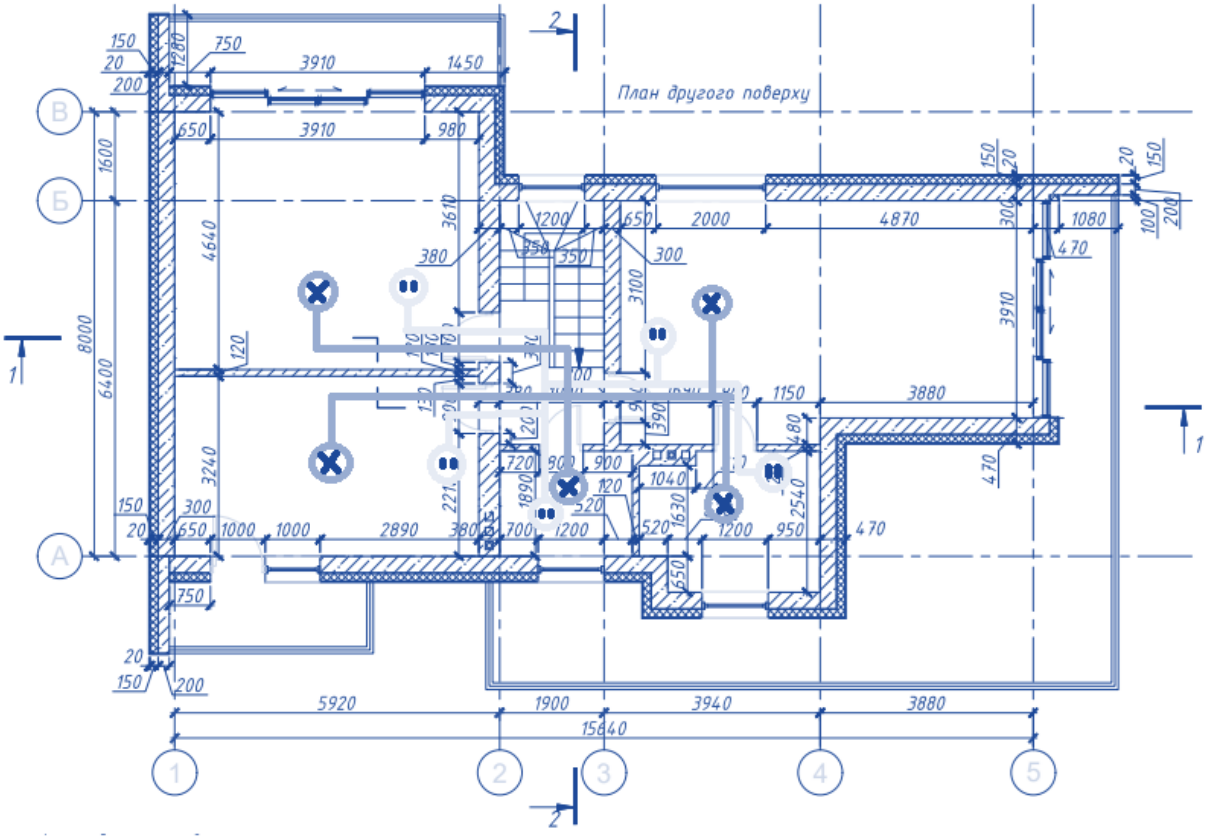


Рисунок 2.3 – Схема розподілу електроенергії в будинку (другий поверху)

Основними та найбільш енерговитратними системами будинку є:

1) Система електроопалення є однією з найважливіших систем, що

забезпечує комфортне проживання у будинку. Вона потребує значної кількості електроенергії для забезпечення стабільної температури в приміщеннях. Основні компоненти системи електроопалення включають електричні котли, інфрачервоні обігрівачі, електричні конвектори, радіатори та електрокабельний обігрів підлоги.

2) Система освітлення є важливим аспектом життєдіяльності будинку. Вона включає основне освітлення (люстри, лампи) та додаткове освітлення (нічники, підсвітка робочих зон).

Для зменшення витрат електроенергії доцільно використовувати енергоефективні лампи, такі як LED, що забезпечують яскраве освітлення при мінімальному споживанні енергії.

3) До побутової техніки відносяться холодильники, пральні машини, посудомийні машини, мікрохвильові печі, електрочайники та інші електроприлади, що використовуються в повсякденному житті.

Важливо враховувати споживання електроенергії кожного приладу при проектуванні системи електропостачання для забезпечення стабільної роботи всіх пристроїв.

2.2 Розрахунок освітлення методами питомої потужності та точковим методом

Підвищити економічну ефективність системи внутрішнього освітлення можливо за рахунок використання сучасних енергоефективних технологій та є важливою частиною сучасного проектування при будівництві. Найважливішими завданнями для вирішення проблем архітектурного освітлення, а також економіки є: створити необхідний рівень освітлення в повсякденному житті відповідно до нормативних вимог, без засліплюючої дії джерел світла, глибоких коливань світлового потоку і різких тіней; забезпечити нормальне кольорове відтворення об'єктів;

використання мінімальної кількості освітлювальних приладів; простота монтажу; компактність; надійність та мобільність. Освітленість об'єкту буде розрахована за допомогою методу питомої потужності та методу коефіцієнту використання світлового потоку.

Розрахунок освітлення приміщення методом питомої потужності.

Вхідні дані:

- розміри приміщення: 6 м х 10 м;
- $E_н = 15$ лк

Метод питомої потужності полягає в тому, що для визначення необхідної кількості світлових приладів потрібно знати потужність світлового потоку на одиницю площі (Вт/м²) для конкретного типу приміщення.

Для освітлення буде використовуватись світильник «ППР-100»; Тип лампи – Б220-100 (розжарювання):

$$P = 100 \text{ Вт};$$

$$U = 220 \text{ В};$$

$$\text{ККД} – 75\ \%;$$

$$cos\ cos\ \varphi = 1;$$

$$F_л = 1350 \text{ ЛМ}.$$

Питома потужність буде знайдена в межах від $\frac{E_н}{5}$ до $\frac{E_н}{3}$ при освітлювані розжарювальною лампою.

$$\omega = \frac{15}{5} \ldots \frac{15}{3} = 3 \ldots 5 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2};$$

Приймаємо $\omega = 4\ \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$

$$\text{Р}_{\text{осв}} = \omega \cdot S = 4 \cdot 6 \cdot 10 = 240 \text{ Вт}.$$

Кількість світильників та відстань між ними:

$$N = \frac{\text{Р}_{\text{осв}}}{\text{Р}_{\text{л}}} = \frac{240}{100} \approx 3$$

де $\text{Р}_{\text{л}}$ – потужність лампи, Вт.

$$l = \frac{L_{\text{л}}}{N_{\text{св}} + 1} = \frac{10}{3 + 1} = 2{,}5 \text{ м}.$$

Метод коефіцієнту використання світлового потоку дозволяє більш точно визначити освітленість, враховуючи ефективність використання світлового потоку від освітлювальних приладів.

Визначення необхідного рівня освітленості. Для житлових приміщень стандартна освітленість зазвичай становить 150…300 люкс.

Розрахунок світлового потоку.

$\Phi_{\text{необхідний}} = \text{E} \times \text{S} = 200 \times 60 = 12000$ лм

Визначення коефіцієнта використання світлового потоку (CU). CU залежить від типу освітлювальних приладів та їх розташування. Для стандартних світильників значення CU може бути в діапазоні 0.5…0.7.

Розрахунок загального світлового потоку від освітлювальних приладів.

$\Phi_{\text{заг}} = \Phi_{\text{необхідний}}$ CU = 12000 0.6 = 20000 лм

Вибір типу світильників. Наприклад, світлодіодні лампи з потужністю 20 Вт мають світловий потік близько 2000 лм.

Розрахунок кількості світильників.

$N = \Phi_{заг}\ \Phi_{одного} = 20000\ \ 2000\ \ = 10$ світильників

Метод питомої потужності дозволяє швидко оцінити необхідну кількість освітлювальних приладів, виходячи з загальної площі приміщення. Метод коефіцієнту використання світлового потоку є більш точним, оскільки враховує ефективність використання світлового потоку і допомагає обрати оптимальну кількість світильників для забезпечення необхідного рівня освітленості. Обидва методи є важливими інструментами для проектування ефективної системи внутрішнього освітлення, яка відповідає сучасним вимогам енергоефективності та комфорту.

Оберемо середнє значення питомої потужності для практичних розрахунків.

$$\omega = \frac{15}{5} \dots \frac{15}{3} = 3 \dots 5 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2};$$

Визначаємо розрахункова освітленість в розрахунковій точці:

$$\text{E}_\text{г} = \frac{n \cdot c \cdot I_a \cdot \alpha}{\text{к}_\text{з} \cdot h^2}$$

де n = 2 - кількість світильників, що освітлюють розрахункову точку;

Коефіцієнт, що враховує значення світлового потоку $F_л$ прийнятої лампи:

$$c = \frac{F_л}{1000\ лм} = \frac{715}{1000} = 0{,}715;$$

Кут, під яким світло падає на поверхню у найвіддаленішій точці;

$$\alpha\ = arctg\left(\frac{l}{2h}\right) = arctg\left(\frac{4}{2 \cdot 2}\right)\ = 45°$$

$I_α$ = 160 кд – сила світла, що визначена по довіднику.

$k_з$ = 1,5 – коеф. запасу.

$$E_{\text{г}} = \frac{2 \cdot 0{,}715 \cdot 183 \cdot 45°}{1{,}5 \cdot 2^2} = 15{,}4 \text{ лк};$$

Умова $E_{\text{г}} \geq E_{\text{н}}$ буде виконуватись - створювана освітленість у найвіддаленішій точці буде перевищувати наше мінімальне необхідне значення;

Визначаємо кількість світильників:

$$N_{\text{св}} = (L - l)/l = (12 - 4)/4 = 2 \text{ шт};$$

Потужність, необхідна для освітлення приміщення:

$$P_{po} = N_{\text{св}} \cdot P_{\text{л}} = 2 \cdot 60 = 120 \text{ Вт};$$

Повну розрахункову потужність освітлювального трансформатора розрахуємо:

$$S_{po} = \frac{P_{po}}{\eta_{\text{м}} \cdot \eta_{\text{ен}} \cdot cos\ \varphi\text{св}};$$

де $\eta_{\text{м}}$ = 0,95 - ККД електричної мережі;

$\eta_{\text{ен}}$ = 0,7 – енергетичний ККД світильника, який враховує втрати потужності в пусковому апараті;

$cos\ \varphi\text{св}$ = 1 - коефіцієнт потужності світильника;

$$S_{po} = \frac{120}{0{,}95 \cdot 0{,}7 \cdot 1} = 180 \text{ ВА}$$

Живлення споживачів буде відбуватись безпосередньо від мережі, без використання освітлювального трансформатора, а для захисту від струмів КЗ, застосуємо автоматичні вимикачі.

Для проведення розрахунку електричних навантажень за методом коефіцієнту попиту потрібно мати характеристики електроприймачів, які включають в себе їхню потужність, робочий час або кількість робочих циклів, а також коефіцієнти одночасності.

У таблиці 2.1 показано приклад врахування електроприймачів з характеристиками, який можна використати для розрахунків.

Таблиця 2.1 – Електроприймачі з характеристиками для розрахунку

№	Електроприймач	Потужність, кВт	Кількість	Сер. час роботи
1	Освітлення	0.12	1	6 годин
2	Холодильник	0.5	1	24
3	Електрочайник	1.5	2	0,5
4	Комп'ютер	0.3	2	8
5	Телевізор	0.15	1	5
6	Пральна машина	2.0	1	1
7	Мікрохвильовка	1.0	1	0,25
8	Бойлер	3.0	1	2

Середній час роботи електроприймача протягом доби або іншого періоду (у годинах).

Розрахунок методом коефіцієнту попиту.

Сумарна потужність (P_total) - сума потужностей всіх електроприймачів.

$$P_{total} = \sum(\text{Потужність} \times \text{Кількість})$$

Коефіцієнт попиту (k). Розраховується як відношення максимальної одночасної суми потужностей електроприймачів до сумарної потужності всіх електроприймачів.

k = ∑(Потужність × Кількість)макс

Розрахункова потужність (P_demand) – це потужність, яка враховується при проектуванні системи електропостачання. Розраховується як сума потужності всіх електроприймачів, помножена на коефіцієнт попиту.

Визначимо розрахункове активне навантаження $P_р$ для електроприймачів і сумарне активне навантаження на вузол.

$$Рр=Кп\ i=1nРн.і.$$

$$Рр1=Кп1Рн1=0,55\cdot4,1=2,26 \text{ кВт;}$$

$$Р=i=1nРн.і.=15,595 \text{ кВт}$$

Знайдемо коефіцієнт реактивної потужності для споживачів:

$$tg\varphi_н=tgarccos\ cos_н$$

$$tg\varphi_{н1\text{-}5,15\text{-}21}=tgarccos\ 0,89=0,512;$$

$$tg\varphi_{н6\text{-}9,22\text{-}23}=tgarccos\ 0,85=0,62;$$

$$tg\varphi_{н10\text{-}14,24\text{-}25}=tgarccos\ 0,8=0,75$$

Згідно таблиці 2.1 складемо більше реальну таблицю електроприймачів, прив’язану до реального об’єкту (табл. 2.2, 2.3).

Таблиця 2.2 – Характеристики електроприймачів

Варіант 2 (Для побутового споживача прийняти cosφ=0,89)		
Електроприймач	Номінальна потужність Рном, кВт	Коефіцієнт попиту
Система гарантованого живлення (АВР)		
Щит 2 поверх (гарантоване живлення)	4,1	0,55
Щит майстерні (гарантоване живлення)	0,8	0,4
Кухня	1,5	0,6
Пральна	2,5	0,65
Котельня (котел)	2,5	0,3
Освітлення (котельна, гараж)	0,4	0,5
Освітлення (вітальня, сан.вузол, сходи)	0,8	0,5
Освітлення (терраса)	0,9	0,5
Насоси свердловин	0,7	0,4
Розетки (вітальня, тераса)	0,75	0,55
Розетки (гостьові кімнати)	0,4	0,35
Розетки (гараж)	0,3	0,1
Розетки (кухня)	0,7	0,6
Розетки (котельня)	1,5	0,3
Система негарантованого живлення		
Щит 2 поверх (негарантоване живлення)	4,3	0,4
Щит майстерні (негарантоване живлення)	2,4	0,4
Витяжка (кухня)	0,5	0,3
Духовка	3,0	0,3
СВЧ	1,2	0,35
Посудомийка	2,0	0,3
Гараж	4,5	0,3
Освітлення подвір'я	0,75	0,25
Освітлення фасаду	0,9	0,3
Розетки 1 поверху	0,7	0,35
Розетки гаража	0.4	0.4

Знаходимо розрахункове реактивне навантаження Q_p для всіх електроприймачів та сумарне реактивне навантаження на вузол кухонного приміщення :

$$Qp= i=1nPнінітgн;$$

$$Qp=Pptan p$$

$$Qp1=Pp1tan p =2,26\cdot0,512=1,155 кВАр;$$

$$QPрп\text{-}1=i=1nQн.i.=8,623 \text{ кВАр}.$$

Визначаємо повне розрахункове навантаження $S_Р$ вузла РП-1:

$$Sp=P2+Q$$

$$Sp1=Pp12+Qp12= 2,262+1,16\ 2=2,534 \text{ кВА};$$

$$SPрп\text{-}1=PPрп\text{-}12+QPрп\text{-}12= 15,5952+8,6232=17,82 \text{ кВА}$$

Таблиця 2.3 – Розрахунок електричних навантажень

Вхідні дані					Результати розрахунків			
Споживач	$Р_н$, кВт	К-ть споживачів	cosϕ	$К_п$	tgϕ	$Р_р$, кВт	$Q_р$,, кВАр	$S_р$, кВА
Збірка № 1 – Система гарантованого живлення								
Щит 2 поверх	4,1	1	0.89	0.55	0.5123	2.255	1.155	2.534
Щит майстерні	0.8	1	0.89	0.4	0.5123	0.32	0.164	0.360
Кухня	1.5	1	0.89	0.6	0.5123	0.9	0.461	1.011
Пральня	2.5	1	0.89	0.65	0.5123	1.625	0.833	1.826
Котельня	2.5	1	0.89	0.3	0.5123	0.75	0.384	0.843
Освітлення котельня	0.4	1	0.85	0.5	0.6197	0.2	0.124	0.235
Освітлення вітальня	0.8	1	0.85	0.5	0.6197	0.4	0.248	0.471
Освітлення тераса	0.9	1	0.85	0.5	0.6197	0.45	0.279	0.529
Насоси свердловин	0.7	1	0.85	0.4	0.6197	0.28	0.174	0.329
Розетки вітальня	0.75	1	0.8	0.55	0.75	0.4125	0.309	0.516
Розетки гостьові	0.4	1	0.8	0.35	0.75	0.14	0.105	0.175

Продовження таблиці 2.3

Розетки гараж	0.3	1	0.8	0.1	0.75	0.03	0.023	0.038
Розетки кухня	0.7	1	0.8	0.6	0.75	0.42	0.315	0.525
Розетки котельня	1.5	1	0.8	0.3	0.75	0.45	0.338	0.563
Збірка № 2 – Система негарантованого живлення								
Щит 2 поверх	4.3	1	0.89	0.4	0.5123	1.720	0.881	1.933
Щит майстерні	2.4	1	0.89	0.4	0.5123	0.96	0.492	1.079
Витяжка кухня	0.5	1	0.89	0.3	0.5123	0.15	0.077	0.169
Духовка	3	1	0.89	0.3	0.5123	0.9	0.461	1.011
СВЧ	1.2	1	0.89	0.35	0.5123	0.42	0.215	0.472
Посудомийка	2	1	0.89	0.3	0.5123	0.6	0.307	0.674
Гараж	4.5	1	0.89	0.3	0.5123	1.35	0.692	1.517
Освітлення подвір’я	0.75	1	0.85	0.25	0.6197	0.1875	0.116	0.221
Освітлення фасаду	0.9	1	0.85	0.3	0.6197	0.27	0.167	0.318
Розетки 1 поверх	0.7	1	0.8	0.35	0.75	0.245	0.184	0.306
Розетки гараж	0.4	1	0.8	0.4	0.75	0.160	0.120	0.200
∑						15,6	8,623	17,82

На підставі проведених розрахунків обираємо трансформатор та заносимо його параметри до таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Параметри обраного трансформатора

Тип	Номінальна потужність, $S_{ном}$, кВА	Номінальні напруги, кВ		Втрати потужності ХХ, $P_х$, кВт	Втрати потужності КЗ, $P_к$, кВт	Струм ХХ $I_х$, %	Напруга КЗ, $U_к$%
		ВН	НН				
ТМ-40/10	40	10	0,4	0,13	0,6	3,2	4,5(4,7)

Розрахунок втрат активної та реактивної потужності в трансформаторі Т1.

$$\Delta P_T = 0{,}02 \cdot S_{ном.Т} = 0{,}02 \cdot 40 = 0{,}8 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_T = 0{,}1 \cdot S_{ном.Т} = 0{,}1 \cdot 40 = 4 \text{ кВАр}.$$

Отже, в результаті розрахунків отримали значення втрат активної та реактивної потужності в обраному трансформаторі.

Для розрахунку електричних мереж на основі вибору кабельних ліній напругою 6 кВ потрібно врахувати декілька ключових аспектів, таких як економічна густина струму, термічна стійкість та компенсація умов монтажу. Ось кроки, які можуть бути виконані для цього розрахунку.

Крок 1: Визначення економічної густини струму. Економічна густина струму (J) визначається для кожного типу кабельної лінії в залежності від умов монтажу, середовища та температурних умов. Вона визначає, яка потужність може передаватися кабелем при певних умовах без перевищення допустимої температури.

Крок 2: Вибір кабельної лінії за нагріванням. На основі економічної густини струму обирається кабельна лінія, яка може забезпечити необхідну потужність і при цьому зберігає термічну стійкість в умовах навантаження і можливих коротких замикань.

Крок 3: Перевірка на термічну стійкість. Обрані кабельні лінії повинні бути перевірені на термічну стійкість, щоб уникнути перегріву під час нормальної експлуатації і під час коротких замикань. Це важливо для забезпечення довговічності кабелів і запобігання аварій.

Крок 4: Компенсація умов монтажу. Кабельна лінія також повинна компенсувати умови монтажу, такі як влаштування в грунт, укладання в труднодоступних місцях або установка в електричних каналах. Це може включати вибір кабелю з відповідним типом оболонки і захисними елементами.

Обирання переносних кабельних жил. Кабельні жилі необхідно вибирати з урахуванням нагрівання та термічної стійкості, але особливу увагу звертають на їх мобільність і можливість використання у різних умовах безпеки та експлуатації.

Для визначення розрахункового струму навантаження групи електроприймачів потрібно виконати наступні кроки.

Визначення загальної потужності навантаження (P): Сума потужностей всіх електроприймачів у групі.

Наприклад, якщо маємо три електроприймачі з потужностями 5 кВт, 3 кВт

і 2 кВт, тоді загальну потужність визначаємо як їх суму і отримаємо 10 кВт.

Розрахунковий струм обчислюється за формулою:

$I = P \cdot U \cdot \cos\varphi$

де:

P - загальна потужність навантаження, кВт

U - фазна напруга, В (для трьохфазної системи, зазвичай 400 В або 230 В)

cosφ – коефіцієнт потужності.

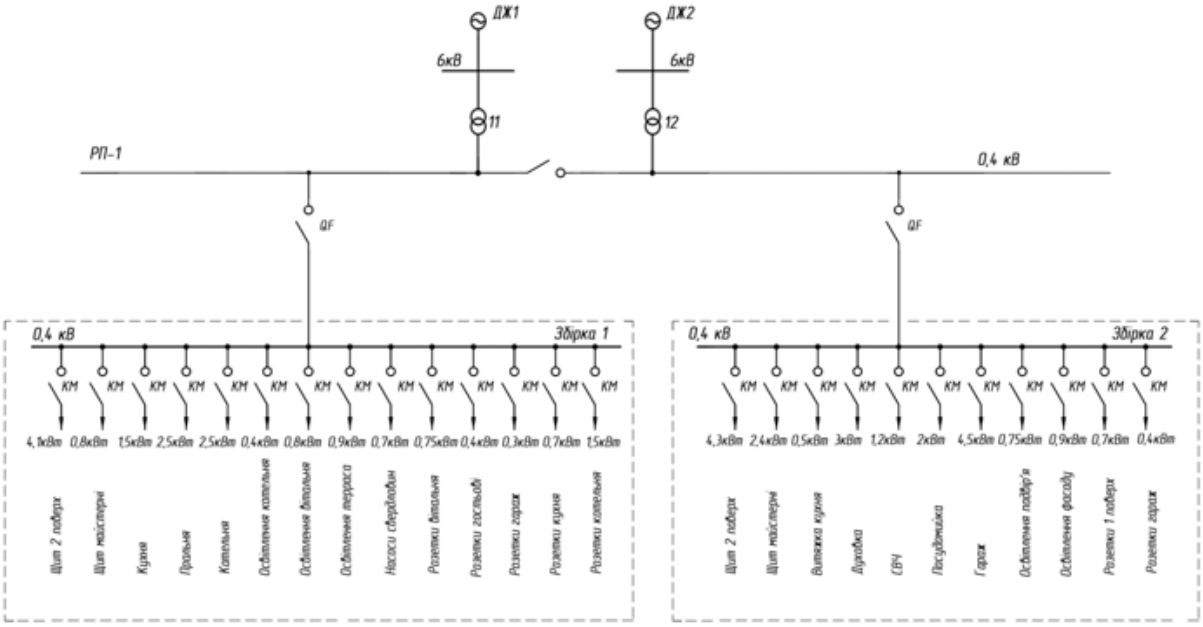


Рисунок 2.4 – Схема електропостачання об’єкту

Вибір перетину провідника (S). Після визначення розрахункового струму, потрібно вибрати відповідний перетин провідника. Це зазвичай робиться згідно з таблицями, що містяться в нормативних документах (наприклад, СНиП, ДБН тощо), які враховують допустимі теплові навантаження та втрати напруги.

Ці кроки допоможуть вам визначити розрахунковий струм навантаження групи електроприймачів. Отже, знайдемо параметри для розглядуваного об’єкту

$$I_P = \frac{S_P}{\sqrt{3} \cdot U_H}$$

$$I_{P1} = \frac{S_{P1}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{2{,}534}{\sqrt{3} \cdot 0{,}4} = 3{,}66\ A;$$

$$I_{P2} = \frac{S_{P2}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{0{,}36}{\sqrt{3} \cdot 0{,}4} = 0{,}52\ A;$$

де S_P – розрахункове навантаження групи споживачів, кВА;

U_H – напруга мережі, кВ.

За схожим алгоритмом розраховуємо решту електроприймачів (табл. 2.5, 2.6).

Таблиця 2.5 – Параметри для розрахунку ліній РП-1

Споживач	№ лінії	Довжина лінії, м	Тип лінії	Потужність, що передається лінією, кВт	cosφ	ККД	Розрахунковий робочий струм лінії $I_р$, А
РП-1							
Споживачі низької напруги гарантованого живлення (0,4 кВ)							
Щит 2 поверх	1	20	КЛ	2,255	0,89	0.9	3,66
Щит майстерні	2	25	КЛ	0,32	0,89	0.9	0,52
Кухня	3	20	КЛ	0,9	0,89	0.9	1,46
Пральня	4	20	КЛ	1,625	0,89	0.9	2,64
Котельня	5	30	КЛ	0,75	0,89	0.9	1,22
Освітлення котельня	6	25	КЛ	0,2	0,85	0.9	0,34
Освітлення вітальня	7	25	КЛ	0,4	0,85	0.9	0,68
Освітлення тераса	8	25	КЛ	0,45	0,85	0.9	0,76
Розетки гостьові	11	35	КЛ	0,14	0,8	0.9	0,25
Розетки гараж	12	35	КЛ	0,03	0,8	0.9	0,054
Розетки кухня	13	35	КЛ	0,42	0,8	0.9	0,76
Розетки котельня	14	35	КЛ	0,45	0,8	0.9	0,81
Насоси свердловин	9	40	КЛ	0,28	0,85	0.9	0,47
Розетки вітальня	10	35	КЛ	0,4125	0,8	0.9	0,74

Таблиця 2.4 – Параметри для розрахунку ліній РП-2

Споживачі низької напруги негарантованого живлення(0,4 кВ)							
Щит 2 поверх	15	20	КЛ	1,72	0,89	0.9	2,79
Щит майстерні	16	25	КЛ	0,96	0,89	0.9	1,56
Витяжка кухня	17	20	КЛ	0,15	0,89	0.9	0,24
Духовка	18	20	КЛ	0,9	0,89	0.9	1,46
СВЧ	19	30	КЛ	0,42	0,89	0.9	0,68
Посудомийка	20	30	КЛ	0,6	0,89	0.9	0,97
Гараж	21	30	КЛ	1,35	0,89	0.9	2,19
Освітлення подвір’я	22	25	КЛ	0,1875	0,85	0.9	0,32
Освітлення фасаду	23	25	КЛ	0,27	0,85	0.9	0,46
Розетки 1 поверх	24	35	КЛ	0,245	0,8	0.9	0,44
Розетки гараж	25	35	КЛ	0,16	0,8	0.9	0,29
Загальний	26	100	КЛ	15,6	-	0.9	25,72
Збірка 1 загальний	27	50	КЛ	8,63	-	0,9	14,37
Збірка 2 загальний	28	50	КЛ	6,97	-	0,9	11,356

Вибір перетину провідників і жил кабелів за нагрівом проводиться згідно з вимогами ПУЕ і стандартними значеннями.

При виборі перетину провідника важливо враховувати, що обраний перетин повинен забезпечувати надійне та безпечне електричне з'єднання між споживачем та джерелом живлення:

$$I_Р \leq I_{ДОП}$$

де $I_р$ - розрахунковий струм і-ї лінії, А;

$I_{ДОП}$ - тривало-допустимі струми для стандартного ряду перерізів провідника ліній.

Визначення допустимого струму (Ідоп) визначається з каталогу виробника для конкретного типу кабелю, який використовується. Розрахунковий струм (Ір) визначається на основі споживаної потужності апаратури або навантаження на

лінію. Коефіцієнт безпеки (k) використовується значення 1,2 для забезпечення надійності. Поперечний переріз провідника (Sнагр) визначаємо за формулою:

$$S_{нагр} = I_P k \cdot I_{доп}$$

На підставі сказаного обираємо трижильний кабель з алюмінію з ПВХ оболонкою. Як вже зазначалося вище, допустиму силу струму знаходимо з наданого виробником каталогу. Прокладна кабелю – повітряне. Результати заносимо до таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Вибір перетину провідників за допустимим нагрівом

Лінія	$I_Р$, А	$I_{доп}$, А	$S_{нагр}$, мм^2	Марка
L_1	3,66	27	1,5	АВВГ 3х1,5
L_2	0,52	27	1,5	АВВГ 3х1,5
L_3	1,46	27	1,5	АВВГ 3х1,5
L_4	2,64	27	1,5	АВВГ 3х1,5
L_5	1,22	27	1,5	АВВГ 3х1,5
L_6	0,34	27	1,5	АВВГ 3х1,5
L_7	0,68	27	1,5	АВВГ 3х1,5
L_8	0,76	27	1,5	АВВГ 3х1,5
L_9	0,47	27	1,5	АВВГ 3х1,5
L_{10}	0,74	27	1,5	АВВГ 3х1,5
L_{11}	0,25	27	1,5	АВВГ 3х1,5
L_{12}	0,054	27	1,5	АВВГ 3х1,5
L_{13}	0,76	27	1,5	АВВГ 3х1,5
L_{14}	0,81	27	1,5	АВВГ 3х1,5
L_{15}	2,79	27	1,5	АВВГ 3х1,5
L_{16}	1,56	27	1,5	АВВГ 3х1,5
L_{17}	0,24	27	1,5	АВВГ 3х1,5
L_{18}	1,46	27	1,5	АВВГ 3х1,5
L_{19}	0,68	27	1,5	АВВГ 3х1,5
L_{20}	0,97	27	1,5	АВВГ 3х1,5
L_{21}	2,19	27	1,5	АВВГ 3х1,5
L_{22}	0,32	27	1,5	АВВГ 3х1,5
L_{23}	0,46	27	1,5	АВВГ 3х1,5
L_{24}	0,44	27	1,5	АВВГ 3х1,5
L_{25}	0,29	27	1,5	АВВГ 3х1,5
L_{26}	25,72	27	1,5	АВВГ 3х1,5
L_{27}	14,37	27	1,5	АВВГ 3х1,5
L_{28}	11,356	27	1,5	АВВГ 3х1,5

Переріз провідників знаходимо як:

$$S'_{\text{ек}} = \frac{I_{\text{р}}}{J_{\text{ек}}}$$

$$S'_{\text{ек1}} = \frac{3{,}66}{1{,}6} = 1{,}92 \text{ мм}^2; S_{\text{ек1}} = 1{,}5 \text{ мм}^2;$$

$$S'_{\text{ек2}} = \frac{0.52}{1{,}6} = 0{,}325 \text{ мм}^2; S_{\text{ек2}} = 1{,}5 \text{ мм}^2.$$

Решта розрахунків представлена у таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Розрахунок густини струму

Лінія	$I_{\text{р}}$, А	$J_{\text{ек}}$, А/мм^2	$S'_{\text{ек}}$, мм^2	$S_{\text{ек}}$ мм^2
L_1	3,66	1,6	1,92	1,5
L_2	0,52	1,6	0,325	1,5
L_3	1,46	1,6	0,913	1,5
L_4	2,64	1,6	1,65	1,5
L_5	1,22	1,6	0,763	1,5
L_6	0,34	1,6	0,213	1,5
L_7	0,68	1,6	0,425	1,5
L_8	0,76	1,6	0,475	1,5
L_9	0,47	1,6	0,29	1,5
L_{10}	0,74	1,6	0,47	1,5
L_{11}	0,25	1,6	0,16	1,5
L_{12}	0,054	1,6	0,03	1,5
L_{13}	0,76	1,6	0,48	1,5
L_{14}	0,81	1,6	0,51	1,5
L_{15}	2,79	1,6	1,74	1,5
L_{16}	1,56	1,6	1	1,5
L_{17}	0,24	1,6	0,15	1,5
L_{18}	1,46	1,6	0,91	1,5
L_{19}	0,68	1,6	0,425	1,5
L_{20}	0,97	1,6	0,61	1,5
L_{21}	2,19	1,6	1,37	1,5
L_{22}	0,32	1,6	0,2	1,5
L_{23}	0,46	1,6	0,3	1,5
L_{24}	0,44	1,6	0,28	1,5
L_{25}	0,29	1,6	0,18	1,5
L_{26}	25,72	1,6	16,075	16
L_{27}	14,37	1,6	8,98	6
L_{28}	11,356	1,6	7,097	6

2.3 Визначення допустимих втрат напруги в електричній мережі

Втрати напруги для електричних пристроїв з низькою напругою (до 1 кВ) вимірюються у вольтах. Прийнятим є, що мережа низької напруги включає в себе трансформатор або трансформаторну підстанцію та кабелі (магістральні, відгалужувальні, гнучкі), які з'єднують трансформатор з електричним приладом. Для мереж з напругою до 1 кВ втрати напруги визначаються як 39В, 63В або 117В залежно від значення UH мережі (380В, 660В, 1140В) $\Delta U_{\text{доп}} = 39$ В.

Відомо, що електричний струм, що протікає по провіднику, викликає падіння напруги через опір провідника, який перетворює частину електричної енергії на теплову. Чим більший струм протікає через провідник, тим більше падіння напруги відбувається. На практиці, в розподільних мережах електропередачі, проводи ліній вибирають так, щоб падіння напруги не перевищувало допустимі значення, встановлені нормативами. Це забезпечує стабільну напругу в кінці лінії, необхідну для правильної роботи споживачів.

Впливає на напругу в кінці лінії також і зміна навантаження. При збільшенні навантаження споживачів, струм, що протікає через провідник, збільшується, що може призвести до додаткового падіння напруги. Тому системи електропередачі повинні бути розраховані на зміну навантаження та забезпечувати необхідну напругу незалежно від варіацій споживання електроенергії. Втрати напруги в трансформаторі [%] проводиться за формулою:

$$\Delta U_{\text{ТР}\%} = \beta\left(U_{a\%} cos\varphi_{\text{ТР}} + U_{\text{р}\%} sin\varphi_{\text{ТР}}\right),$$

де коефіцієнт завантаження трансформатора знаходять як:

$$\beta = \frac{S_P}{S_{H.T}}$$

а активну складову напруги КЗ трансформатора:

$$U_{a\%} = \frac{\Delta P_K}{10 S_{H.T.}}$$

ΔP_K - втрати КЗ трансформатора, Вт;

$S_{\text{Н.Т}}$ - номінальна потужність трансформатора, кВА.

Абсолютне значення втрат напруги в трансформаторі знаходимо як:

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

Визначаємо втрати напруги для трансформатора ТМ-400 6/0,4:

$$\beta = \frac{S_p}{S_{\text{н.т.}}} = \frac{17{,}82}{40} = 0{,}4455$$

$$U_{a\%} = \frac{\Delta \text{P}_\text{к}}{10 \cdot S_{\text{н.т.}}} = \frac{600}{10 \cdot 40} = 1{,}5\ \%$$

$$U_{p\%} = \sqrt{(U_{k\%})^2 - (U_{a\%})^2} = \sqrt{4{,}5^2 - 1{,}5^2} = 4{,}24\ \%$$

$$cos\varphi = \frac{P}{S} = \frac{15{,}6}{17{,}82} = 0{,}875$$

$$sin\varphi = \sqrt{1 - cos\varphi^2} = \sqrt{1 - 0{,}875^2} = 0{,}484$$

$$\Delta U_{TP\%} = \beta \cdot (U_{a\%} \cdot cos\varphi + U_{P\%} \cdot sin\varphi) = 0{,}4455 \cdot (1{,}5 \cdot 0{,}875 + 4{,}24 \cdot 0{,}484) = 1{,}53\ \%$$

$$\Delta U_{TP} = \Delta U_{TP\%} \cdot K_0 \cdot \frac{U_0}{100} = 1{,}53 \cdot 1 \cdot \frac{400}{100} = 6{,}13\ \text{В}$$

Тоді допустимі втрати напруги в кабелі становитимуть:

$$\Delta U_{\text{мк}} = \Delta U_{\text{доп}} - \Delta U_{TP} = 39 - 6{,}13 = 32{,}87 \text{ В}$$

Втрати напруги в кабелі знаходимо за формулою:

$$\Delta U_{\text{м.к.}} = \frac{\text{P}_\text{Н} \cdot L_{\text{м.к.}} \cdot 10^3}{\gamma \cdot S_{\text{м.к.}} \cdot U_H \cdot \eta_H}$$

Параметри, що використовуються в розрахунках втрат напруги для кабелю, включають:

- РН (Потужність навантаження): Виражає потужність усіх електричних пристроїв, що живляться через цей кабель, у кіловатах (кВт). Цей параметр дозволяє визначити, яке навантаження буде покладено на кабель;

- Lм.к. (Довжина кабелю): Відображає довжину кабелю в метрах (м). Цей параметр важливий, оскільки довший кабель має більший опір і, відповідно, більші втрати напруги;

- γ (Питома провідність): Є питомою провідністю кабелю і вимірюється у метрах на ом мм². Для мідного кабелю γ становить 50 метрів на ом мм², тоді як для алюмінієвого γ = 32 метрів на ом мм². Цей параметр визначає, наскільки ефективно кабель проводить електричний струм;

- Sм.к. (Поперечний переріз кабелю): Представляє найбільший поперечний переріз кабелю, який був попередньо перевірений, у мм². Вибір правильного перерізу кабелю є критичним для забезпечення мінімальних втрат напруги;

- UН (Номінальна напруга): Відноситься до номінальної напруги мережі, для якої проводяться розрахунки втрат напруги, у вольтах (В). Цей параметр визначає вихідну напругу, яку необхідно підтримувати на заданому рівні;

- ηН (ККД): Означає коефіцієнт корисної дії електричного приладу. Він показує, яка частина спожитої електроенергії перетворюється на корисну роботу, а яка – на втрати. Високий ККД свідчить про більш ефективне використання

електроенергії.

Ці параметри взаємодіють між собою, щоб дати повну картину втрат напруги в кабелі. Наприклад, збільшення довжини кабелю або зменшення його поперечного перерізу призводить до збільшення втрат напруги, що може вплинути на ефективність і стабільність роботи електричних пристроїв. Розрахунки з урахуванням цих параметрів дозволяють оптимізувати вибір кабелю для забезпечення мінімальних втрат напруги і, відповідно, більш ефективної роботи системи електропостачання.

$$\Delta U_{\text{м.к1}} = \frac{\text{P}_{\text{н1}} \cdot L_{\text{м.к1}} \cdot 10^3}{\gamma \cdot S_{\text{м.к1}} \cdot U_{\text{н}} \cdot \eta} = \frac{2{,}255 \cdot 20 \cdot 10^3}{32 \cdot 2{,}5 \cdot 400 \cdot 0{,}9} = 1{,}565 \text{ В} < 32{,}87 \text{ В};$$

При перевищенні втрат напруги в кабелі допустимих значень переріз кабелю потрібно збільшити. Зазвичай це означає, що поперечний переріз кабелю потрібно збільшити вдвічі, щоб знизити втрати напруги. Цей процес вимагає послідовного збільшення перерізу кабелю до досягнення прийнятних значень втрат напруги, що дозволяє забезпечити стабільну роботу електричної мережі при змінних умовах навантаження.

2.4 Розрахунок струмів короткого замикання

Розрахунок струмів короткого замикання (КЗ) в електричних мережах є важливою частиною проектування та експлуатації систем електропостачання. Для спрощення розрахунків і кращого розуміння можна скористатися схемою заміщення, що поліпшить наочність і дозволить краще розуміти при розрахунку точок короткого замикання.

Схема заміщення для розрахунку струмів КЗ може включати такі елементи: джерело короткого замикання та основні елементи мережі.

Джерело короткого замикання еквівалентне джерело струму, яке використовується для обчислення струму короткого замикання у певній точці

мережі.

Основні елементи мережі включають лінії, трансформатори, генератори і інші компоненти представляються як еквівалентні параметри, що спрощує розрахунок.

Принцип роботи схеми заміщення полягає у визначенні напруги і струму в кожній точці мережі під час короткого замикання, а всі струми розглядаються з урахуванням їх походження згідно зі схемою заміщення.

Схема заміщення для розрахунку точок КЗ представлена на рисунку 2.5.

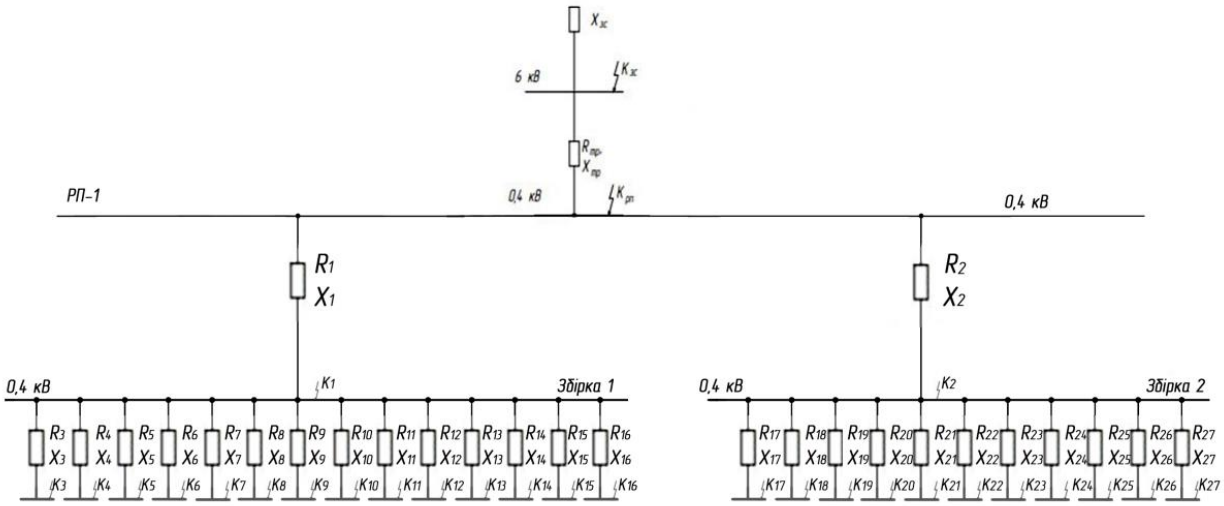


Рисунок 2.5 – Схема заміщення для розрахунку точок КЗ

$$X_{зс} = \frac{U_{С.Н.}{}^2}{S_K^{(3)}} = \frac{400^2}{40 \cdot 10^6} = 4 \cdot 10^{-3}\ \text{Ом}$$

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

$U_{С.Н.}{}^2$ – 230, 400, 690, 1200 В.

Опір трансформатора визначають як:

$$R_T = \frac{\Delta P_K}{(3 \cdot I_{Н.Т.}^2)}$$

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

$$Z_T = \frac{U_K \cdot U_{C.H.}}{100 \cdot \sqrt{3} \cdot I_{H.T.}}$$

$$I_{H.T} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{40}{\sqrt{3} \cdot 0{,}4} = 57{,}735\ A;$$

$$\text{X}_{\text{Тр}} = \sqrt{Z_{T\text{р}}^2 - R_{T\text{р}}^2} = \sqrt{0{,}18^2 - 0{,}06^2} = 0{,}1697\ \text{Ом}$$

Активний опір кабельних ліній розраховується для визначення втрат напруги та потужності в електричних мережах. Втрати напруги є критичним параметром для забезпечення стабільної роботи споживачів. Активний опір (R) кабелю залежить від матеріалу провідника, довжини кабелю та перерізу провідника. В загальному вигляді активний опір кабелю визначається за формулою, Ом:

$$R_{L1} = \frac{1000}{\gamma \cdot S_{\text{м.к1}}} \cdot L_1 = \frac{1000}{32 \cdot 6} \cdot 0{,}05 = 0{,}23809\ \text{Ом};$$

$$R_{L2} = \frac{1000}{\gamma \cdot S_{\text{м.к2}}} \cdot L_2 = \frac{1000}{32 \cdot 6} \cdot 0{,}05 = 0{,}23809\ \text{Ом}.$$

Результати розрахунку заносимо до таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Активний опір для різних довжин і перерізів кабелю

Довжина (м)	Переріз (мм²)	Активний опір, мідь (Ом)	Активний опір, алюміній (Ом)
100	1.5	0.00117	0.00187
200	1.5	0.00233	0.00373
500	1.5	0.00583	0.00933
1000	1.5	0.01167	0.01867
100	2.5	0.00070	0.00112
200	2.5	0.00140	0.00224
500	2.5	0.00350	0.00560
1000	2.5	0.00700	0.01120

Активний опір кабельних ліній, що живлять споживачів низької напруги,

має бути мінімізований для зменшення втрат напруги та забезпечення стабільної роботи електричних приладів. Це досягається шляхом вибору оптимального перерізу провідника та мінімізації довжини кабелю, коли це можливо.

Реактивний опір кабельних ліній, що живить споживачів низької напруги x_0=0,07 Ом/км - реактивний опір КЛ, U < 1 кВ довжиною 1 км:

$$X_{L1} = x_0 \cdot L_1 = 0{,}07 \cdot 0{,}05 = 0{,}0035 \text{ Ом};$$

Аналогічно розраховуємо решту опорів та заносимо результати до таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Результати розрахунків значень опорів

Елемент мережі	R, Ом	X, Ом
Джерело живлення	0	0,004
Трансформатор ТМ-400/6	0,06	0,1697
L_1	0,238095238	0,0035
L_2	0,238095238	0,0035
L_3	0,228571429	0,0014
L_4	0,285714286	0,00175
L_5	0,228571429	0,0014
L_6	0,228571429	0,0014
L6	0,228571429	0,0014
L7	0,342857143	0,0021
L8	0,285714286	0,00175
L9	0,285714286	0,00175
L10	0,285714286	0,00175
L11	0,457142857	0,0028
L12	0,4	0,00245
L13	0,4	0,00245
L14	0,4	0,00245
L15	0,4	0,00245
L16	0,4	0,00245
L17	0,228571429	0,0014
L18	0,285714286	0,00175
L19	0,228571429	0,0014
L20	0,228571429	0,0014
L21	0,342857143	0,0021
L22	0,342857143	0,0021
L23	0,342857143	0,0021
L24	0,285714286	0,00175
L25	0,285714286	0,00175
L26	0,4	0,00245
L27	0,4	0,00245

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

Результати розрахунку сумарних опорів точок КЗ заносимо до таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 – Результати розрахунку сумарних опорів точок КЗ

Точка	$R_{\text{К}}$	$X_{\text{К}}$	$Z_{\text{К}}$
Кзс	0	0.004	0.004
Крп	0.06	0.173706	0.183776
К1	0.298095	0.177206	0.346789
К2	0.298095	0.177206	0.346789
К3	0.526667	0.178606	0.556127
К4	0.58381	0.178956	0.610622
К5	0.526667	0.178606	0.556127
К6	0.526667	0.178606	0.556127
К7	0.640952	0.179306	0.66556
К8	0.58381	0.178956	0.610622
К9	0.58381	0.178956	0.610622
К10	0.58381	0.178956	0.610622
К11	0.755238	0.180006	0.776393
К12	0.698095	0.179656	0.720842
К13	0.698095	0.179656	0.720842
К14	0.698095	0.179656	0.720842
К15	0.698095	0.179656	0.720842
К16	0.698095	0.179656	0.720842
К17	0.526667	0.178606	0.556127
К18	0.58381	0.178956	0.610622
К19	0.526667	0.178606	0.556127
К20	0.526667	0.178606	0.556127
К21	0.640952	0.179306	0.66556
К22	0.640952	0.179306	0.66556
К23	0.640952	0.179306	0.66556
К24	0.58381	0.178956	0.610622
К25	0.58381	0.178956	0.610622
К26	0.698095	0.179656	0.720842
К27	0.698095	0.179656	0.720842

Визначаємо діюче значення струму трифазного КЗ для і-ої точки кола

$$I_{\text{Кзс}}^{3} = \frac{U_{C.H.}}{\sqrt{3} \cdot Z_{Кзс}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 0{,}004} = 57{,}7350 \text{ кА}$$

Визначаємо струм двофазного короткого замикання

$$I_{\text{КЗС}}^{2} = \frac{U_{C.H.}}{2 \cdot Z_{\text{КЗС}}} = \frac{400}{2 \cdot 0{,}004} = 50 \text{ кА};$$

$$i_y = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\text{К}}^{3}$$

$$i_{y\text{Кзс}} = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\text{Кзс}}^{3} = 1{,}8 \cdot \sqrt{2} \cdot 57{,}7350 = 146{,}969 \text{ кА};$$

$$i_{y\text{рп}} = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\text{Крп}}^{3} = 1{,}2 \cdot \sqrt{2} \cdot 1{,}2566 = 2{,}132 \text{ кА};$$

$$i_{y\text{К1}} = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\text{К1}}^{3} = 1 \cdot \sqrt{2} \cdot 0{,}66594 = 0{,}9417 \text{ кА}$$

Решту струмів розраховуємо аналогічно.

Визначаємо діюче значення повного струму КЗ:

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

$$I_{y\text{рп}} = I_{\text{Крп}}^{3} \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot \left(k_y - 1\right)^2} = 1{,}2566 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1{,}2 - 1)^2} = 1{,}306 \text{ кА};$$

$$I_{y\text{К1}} = I_{\text{К1}}^{3} \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot \left(k_y - 1\right)^2} = 0{,}66594 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1 - 1)^2} = 0{,}66594 \text{ кА}$$

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

Таблиця 2.10 − Розрахунок струмів КЗ у іменованих одиницях

Точка КЗ	$U_{сн}$, $В$	R, Ом	X, Ом	Z, Ом	$I_к^{(3)}$, кА	$I_к^{(2)}$, кА	$i_у$, кА	$I_у$, кА
Кзс	400	0	0.004	0.004	57735.03	50000	146969.4	87177.98
Крп	400	0.06	0.173706	0.183776	1256.639	1088.281	2132.586	1305.937
К1	400	0.298095	0.177206	0.346789	665.9384	576.7196	941.7791	665.9384
К2	400	0.298095	0.177206	0.346789	665.9384	576.7196	941.7791	665.9384
К3	400	0.526667	0.178606	0.556127	415.2647	359.6298	587.273	415.2647
К4	400	0.58381	0.178956	0.610622	378.205	327.5351	534.8626	378.205
К5	400	0.526667	0.178606	0.556127	415.2647	359.6298	587.273	415.2647
К6	400	0.526667	0.178606	0.556127	415.2647	359.6298	587.273	415.2647
К7	400	0.640952	0.179306	0.66556	346.986	300.4987	490.7123	346.986
К8	400	0.58381	0.178956	0.610622	378.205	327.5351	534.8626	378.205
К9	400	0.58381	0.178956	0.610622	378.205	327.5351	534.8626	378.205
К10	400	0.58381	0.178956	0.610622	378.205	327.5351	534.8626	378.205
К11	400	0.755238	0.180006	0.776393	297.4525	257.6014	420.6613	297.4525
К12	400	0.698095	0.179656	0.720842	320.3755	277.4533	453.0794	320.3755
К13	400	0.698095	0.179656	0.720842	320.3755	277.4533	453.0794	320.3755
К14	400	0.698095	0.179656	0.720842	320.3755	277.4533	453.0794	320.3755
К15	400	0.698095	0.179656	0.720842	320.3755	277.4533	453.0794	320.3755
К16	400	0.698095	0.179656	0.720842	320.3755	277.4533	453.0794	320.3755
К17	400	0.526667	0.178606	0.556127	415.2647	359.6298	587.273	415.2647
К18	400	0.58381	0.178956	0.610622	378.205	327.5351	534.8626	378.205
К19	400	0.526667	0.178606	0.556127	415.2647	359.6298	587.273	415.2647
К20	400	0.526667	0.178606	0.556127	415.2647	359.6298	587.273	415.2647
К21	400	0.640952	0.179306	0.66556	346.986	300.4987	490.7123	346.986
К22	400	0.640952	0.179306	0.66556	346.986	300.4987	490.7123	346.986
К23	400	0.640952	0.179306	0.66556	346.986	300.4987	490.7123	346.986
К24	400	0.58381	0.178956	0.610622	378.205	327.5351	534.8626	378.205
К25	400	0.58381	0.178956	0.610622	378.205	327.5351	534.8626	378.205

3 ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ

Розглядуваним об’єктом є двоповерхове приміщення. Задача полягає в проєктуванні автоматизованої системи опалення об’єкту, розрахунках і моделюванні системи електроприводу циркуляційного насосу. Для опалення житлового двоповерхового будинку обрано систему водяного опалення, яка включає в себе радіатори. Обрано двотрубну схему під’єднання радіаторів, як таку, що має найменші теплові втрати.

Класифікація систем опалення.

Системи опалення класифікуються за кількома критеріями:

1) За видом теплоносія:

а) водяні; б) парові; в) повітряні.

2) За способом підключення:

а) однотрубні; б) двотрубні; в) комбіновані

3) За джерелом теплової енергії:

а) центральне опалення; б) автономне опалення

4) За способом регулювання:

а) з ручним регулюванням; б) з автоматичним регулюванням.

Вибір системи опалення. Для опалення двоповерхового приміщення обрано водяну систему опалення з автономним джерелом теплової енергії. Ця система передбачає використання радіаторів, які встановлюються в кожній кімнаті для забезпечення рівномірного розподілу тепла. Двотрубна схема під’єднання радіаторів дозволяє зменшити теплові втрати та забезпечити більш ефективне управління теплопостачанням.

Розрахунок кількості секцій радіатора. Для визначення необхідної кількості секцій радіатора потрібно виконати кілька розрахунків. Визначення теплових втрат приміщення. Теплові втрати приміщення залежать від об'єму, матеріалу стін, підлоги, даху та вікон, а також від кліматичних умов регіону.

Розрахунок потужності радіатора. Потужність одного радіатора визначається в залежності від типу радіатора та температурного режиму системи

опалення. Підбір кількості секцій радіатора. Для визначення кількості секцій необхідно поділити загальну теплову потужність, необхідну для опалення приміщення, на потужність однієї секції радіатора.

Підбір обладнання. Для ефективної роботи системи опалення обирається автоматизований циркуляційний насос з електроприводом, який забезпечує необхідний потік теплоносія через систему. Основними критеріями вибору насосу є:

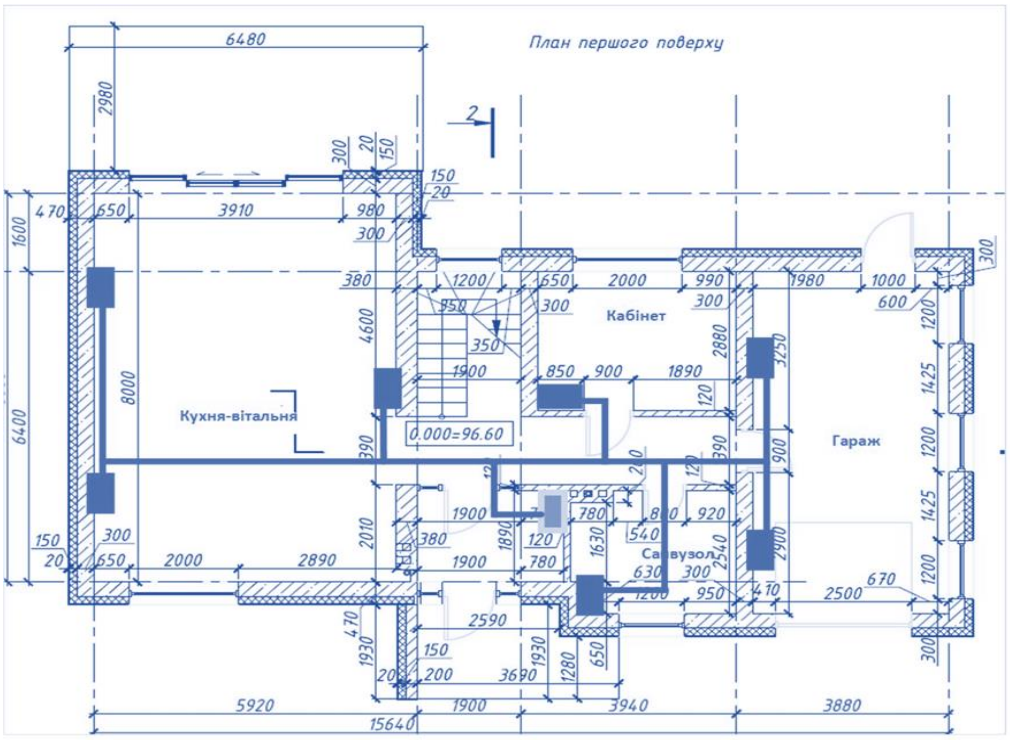
- продуктивність (об’єм подачі теплоносія);
- напір (висота підйому теплоносія);
- енергоефективність;
- надійність та довговічність.

Система автоматичного управління дозволяє підтримувати оптимальні температурні режими в приміщеннях, знижуючи енерговитрати та підвищуючи комфорт для мешканців. Перелік опалювальних приміщень двоповерхового приміщення наведено в таблиці 3.1.

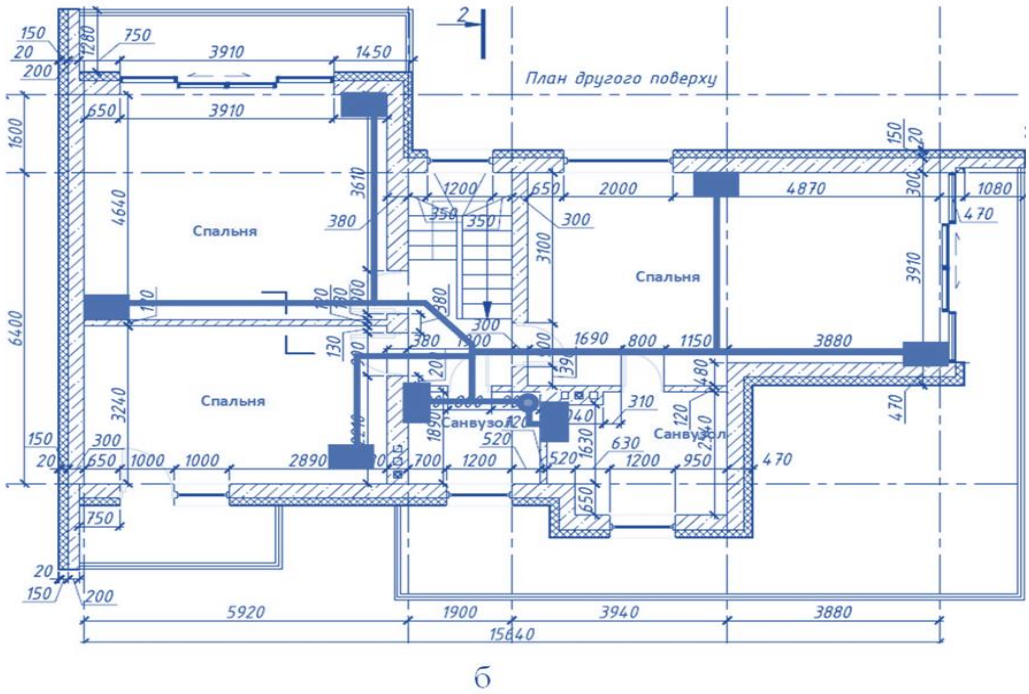
Таблиця 3.1 – Перелік опалювальних приміщень двоповерхового житлового будинку

	Приміщення першого поверху	Площа, $м^2$
1	Кухня -вітальня	44.32
2	Санвузол 1	7.35
3	Кабінет	10.48
4	Гараж	25.23
5	Коридор 1	8.64
Сумарна площа поверху		96.02
Приміщення другого поверху		
6	Спальня 1	31.15
7	Спальня 2	25.70
8	Спальня 3	17.95
9	Санвузол 2	7.77
10	Санвузол 3	4.57
11	Коридор 2	3.72
Сумарна площа поверху		90.86
Сумарна площа опалювальних приміщень		186.88

В приміщенні монтовано вікна на всю висоту стіни поверху, тому радіатори вмонтовані біля вікон (рисунок .3.1 а, б).



а



б

Рисунок 3.1 – План встановлення радіаторів у приміщенні

З каталогу виробника було обрано модель радіатора «Condor A 350-80»

(рис. 3.2). Для розрахунку кількості секцій потрібно знати загальну теплову потужність, яка потрібна для опалення вашого будинку. Цю потужність можна розрахувати, враховуючи розміри будинку, тип конструкції, місцеві кліматичні умови та інші фактори, що впливають на теплові втрати. Була обрана секція, яка має тепловіддачу P = 138 Вт.

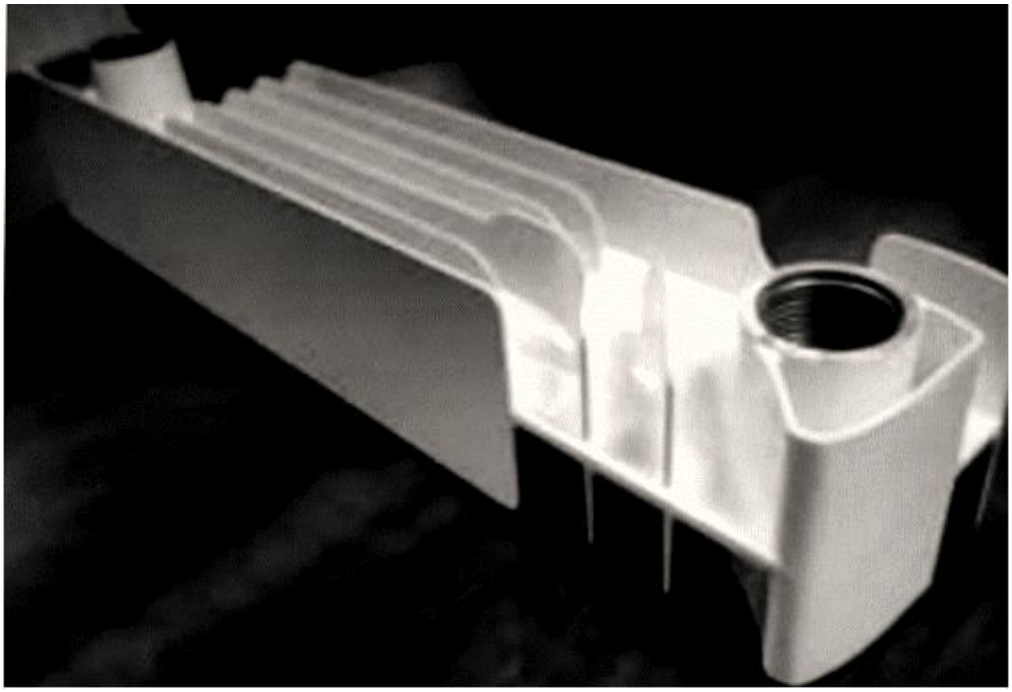


Рисунок 3.2 – Зовнішній вигляд секції обраного радіатору Condor A 350-80

Для розрахунку кількості секцій радіатора CONDOR A 350-80 необхідно використовувати наступним чином:

$$N = S \div P$$

$$N = 186 \div 138$$

$$N = 134 \text{ секцій радіатора}$$

За довідниковою документацією та каталогом виробника, було обрано котел «Dnipro "КЕО-міні" 24кВт» (рис. 3.3), який є потужним електричним котлом, призначеним для опалення житлових приміщень. Основні характеристики і параметри даного котла включають:

- потужність 24 кВт;

- напруга і фазування – 380 В, 3 фази;

- терморегулятор: є можливість підключення зовнішнього термостата для контролю температури опалювання.

- об’єм розширювального бака – 6 л;

- допустимий робочий тиск – 6 бар;

- максимальна температура теплоносія – 80 °С;

- підключення – G3/G4;

- ККД – 95 %.



Рисунок 3.3 – Зовнішній вигляд електричного котла «Dnipro "КЕО-міні" 24кВт»

Циркуляційний насос використовується для циркуляції гарячої води через опалювальні труби і радіатори, забезпечуючи ефективне розподілення тепла по всьому будинку і встановлюється на гарячому водопроводі, що подає гарячу воду до радіаторів, забезпечуючи її потік через систему трубопроводів. Основні характеристики циркуляційного насосу включають продуктивність, енергоефективність, опалювальні труби. Інтегрування циркуляційного насосу

до системи опалення є необхідною умовою, так як даний електричний котел не має вмонтованого насосу.

Опалювальні труби обираються з урахуванням конструкції будинку, його розмірів і вимог до теплових втрат. Вони повинні мати достатній діаметр і міцність для безперебійної роботи системи опалення. Котел «Dnipro "КЕО-міні" 24кВт» підключається до опалювальної системи, забезпечуючи гарячу воду для опалення радіаторів і теплих підлог.

За допомогою вбудованого або зовнішнього терморегулятора контролюється температура гарячої води, що постачається в систему опалення.

Це є основними кроками для інтеграції обраного електричного котла, циркуляційного насосу та опалювальних труб в систему водяного опалення вашого будинку. Для успішної реалізації цих кроків важливо враховувати всі технічні характеристики та вимоги до системи опалення, щоб забезпечити її ефективну і безперебійну роботу. Виходячи з того, що потужність обраного котла складає 24 кВт, за довідником виробника підберемо радіус опалювальної труби (рис. 3.4).

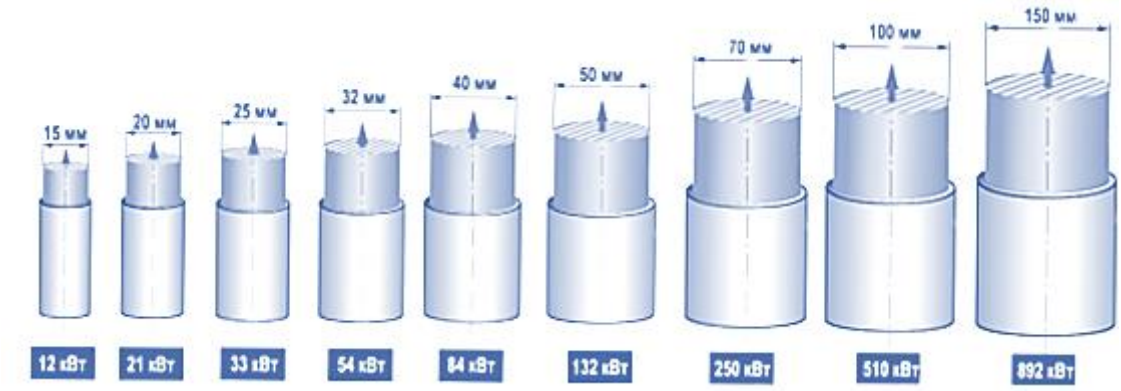


Рисунок 3.4 – Підбір радіусу опалювальної труби за тепловою потужністю

На основі обраних компонентів і враховуючи вимоги до системи опалення вашого будинку, переходимо до інтеграції циркуляційного насосу «Grundfos ALPHA2 25-60 N» і поліпропіленових труб «PPr Ø25мм PN16 Rosso Therm».

Циркуляційний насос «Grundfos ALPHA2 25-60 N» є високоефективним насосом з низьким споживанням енергії, призначеним для систем водяного опалення.

Основні характеристики включають:

- номінальна потужність – 25…60 Вт;

- максимальний тиск – до 10 бар;

- максимальна температура робочого середовища – до 110 °С.

Функція автоматичного регулювання потоку: насос автоматично регулює швидкість обертання залежно від потреб системи, забезпечуючи оптимальний обсяг води в системі.

Поліпропіленова труба «PPr Ø25мм PN16 Rosso Therm» обрана через її високу міцність і витривалість до високого тиску. Основні параметри включають:

- діаметр – 25 мм;

- клас тиску – PN16 (максимальний тиск 16 бар).

- за температурним режимом здатна витримувати високі температури, необхідні для систем опалення. Поліпропіленові труби мають достатній діаметр для забезпечення потрібного обсягу гарячої води до кожного радіатора у вашому будинку.

Циркуляційний насос «Grundfos ALPHA2 25-60 N» (рис. 3.5) підключається до гарячого водопроводу, що подає гарячу воду з котла до радіаторів через поліпропіленові труби, має досить компактні розміри у порівнянні з іншими моделями циркуляційних насосів, що зазвичай використовуються в системах опалення. Завдяки цим компактним розмірам ви можете ефективно використовувати доступний простір для інших потреб, наприклад, для встановлення вогнегасників чи інших необхідних обладнань без великих втрат корисного простору. Це особливо важливо для об’єктів з обмеженим простором, де ефективне використання кожного квадратного метра є критичним. Компактність циркуляційного насосу дозволяє економити місце і підвищує функціональність приміщення.

За допомогою терморегулятора і автоматичного регулювання насоса, система забезпечує необхідну температуру опалення відповідно до ваших вимог.

Ці кроки дозволяють інтегрувати обрані компоненти в вашу систему

опалення таким чином, щоб забезпечити ефективне, надійне і енергоефективне опалення вашого будинку. Важливо дотримуватися всіх виробником рекомендованих інструкцій щодо монтажу та експлуатації для забезпечення довговічності і безпеки системи.



Рисунок 3.5 –Зовнішній вигляд циркуляційного насосу Grundfos ALPHA2 25-60 N 180

Технічні характеристики циркуляційного насосу Grundfos ALPHA2 25-60 N 180:

- максимальний гідростатичний натиск – 6 м;
- максимальна витрата насосу – 3.4 $м^3$/год;
- максимальний робочий тиск 10 бар;
- повна вага 2.13 кг;
- матеріал корпусу – чавун;
- допустимий тиск – PN 10;
- з’єднання труб – G 1 ½;
- частота мережі – 50 Гц.

3.1 Втрати в системі опалення

Для розрахунку загальної кількості витрати теплоносія для 134 секцій алюмінієвого радіатора, де в кожній секції міститься 0.45 л теплоносія, проведемо наступні обчислення.

Об’єм теплоносія в одній секції:

$V_{секції} = 0.45$ л

Загальний об’єм теплоносія для 134 секцій.

$V_{загальний} = 134 \times 0.45 = 60{,}3$ л.

Отже, загальна кількість теплоносія для 134 секцій алюмінієвого радіатора складає 60.3 літра.

Або в інших одиницях вимірювання:

$$m = 134 \times 0.45 = 60{,}3 \ \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Чим вище швидкість теплоносія, тим швидше відбувається теплообмін (нагрів кімнати).

Швидкість теплоносія визначаємо так:

$$V_{\text{тн}} = \frac{m}{\rho \cdot S}$$

$$V_{\text{тн}} = \frac{60{,}3}{997 \cdot 0{,}0314}$$

$V_{\text{тн}} = 1{,}92 \ \frac{\text{м}}{\text{с}}$

m – витрата теплоносія [кг/с]

ρ – густина теплоносія

S – площа перерізу труби, м^2

Для розрахунку втрат напору Ннав в трубопроводі системи опалення в житловому будинку використаємо формулу Дарсі-Вейсбаха. Ця формула враховує режим руху рідини в трубі (ламінарний або турбулентний) і дозволяє розрахувати втрати напору вздовж трубопроводу. Для житлового будинку площею 186 м² і встановленої системи опалення, потрібно знати такі параметри:

- довжина трубопроводів (L), яка використовуються для системи опалення;
- діаметр труби (D), який використовується в системі;
- швидкість руху рідини (v), яка зазвичай вибирається відповідно до розрахункових значень для опалювальних систем.

Ці параметри потрібно визначити згідно з проектними даними або технічними специфікаціями системи опалення вашого будинку:

$$h_L = \lambda \frac{L}{d} \frac{v^2}{2g}$$

де h_L – втрати напору за довжиною трубопроводу;

λ - коефіцієнт гідравлічного тертя; для ламінарного режиму.

$$\lambda = \frac{64}{Re}$$

L та d – довжина та внутрішні діаметри труби;

g – прискорення вільного падіння.

Було проведено розрахунок числа Рейнольдса для теплоносія, в результаті якого отримано число 26669.75, що свідчить про турбулентність потоку. За формулою Блазіуса можна визначити гідравлічний коефіцієнт тертя *f* для турбулентного режиму руху рідини. Формула Блазіуса має вигляд:

$$\lambda = \frac{0{,}316}{\sqrt[4]{Re}}$$

$$\lambda = \frac{0{,}316}{\sqrt[4]{26669{,}75}} = 0{,}024$$

Підставимо в початкову формулу:

$$h_L = 0.26\frac{37 \cdot 1.07^2}{0.024 \cdot 2 \cdot 9.8} = 23.4 \text{ (м)}$$

Отже, втрати напору дорівнюють 23,4 м або 2,34 бар.

3.2 Моделювання системи опалення приміщення

Як вже зазначалося раніше, автоматизована системи опалення має підтримувати температуру повітря в приміщенні на заданому рівні. Дане можливе шляхом регулювання напруги шляхом повного чи часткового перекриття заслінок в гідравлічній системі, тобто «вмикання» або «вимикання» окремих секцій радіаторів. Це пов’язано із тим, що температура теплоносія в контурі стабільна і, як правило, близька 70°С. Окрема задача системи управління циркуляційного насосу – регулювання швидкості обертання робочого органу в залежності від гідравлічного навантаження в трубопроводі. Із цією задачею справляється наша обрана система перетворювача частоти – циркуляційний насос Grundfos ALPHA2 25-60 N 180. Система електроприводу «перетворювач частоти – асинхронний двигун» представлена на рисунку 3.6.

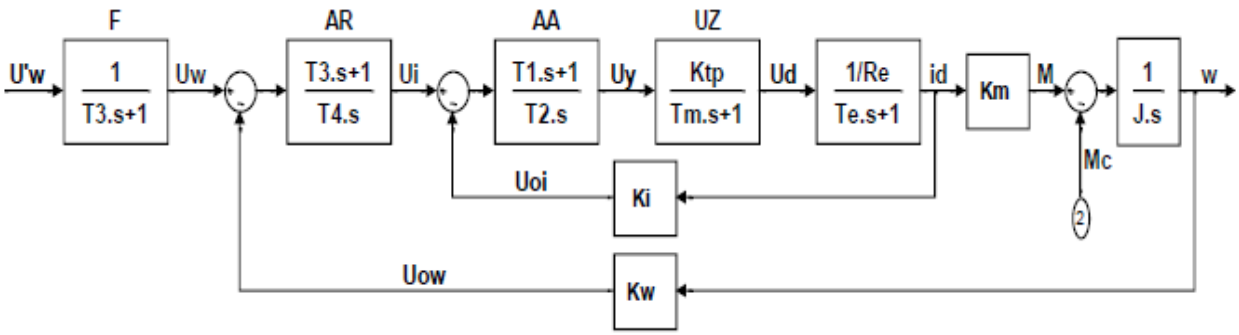


Рисунок 3.6 – Схема електроприводу системи опалення

Розрахунок параметрів структурної схеми. Повний момент інерції J системи ПЧ-АД:

$$J = J_{дв} + J_{мех.пр}.$$

Еквівалентний активний опір $R_{\text{е}}$ кола статора:

$$R_{\text{е}} = 2R_1 s + 2R_2' + 2R_{\text{в(тд)}} + R_{\text{ш}} + R_{\text{зр}} + 2R_{\text{I(тгр)}} + 2R_{\text{М.Ж(ТР.СОР)}} + \frac{3\pi}{2}\left[(X_1 + X_2')s + X_{\text{тр}}\right].$$

Для інженерних розрахунків приймають ковзання s рівним:

$$s = s_{max} = 1 \text{ або } s = s_{\text{ср}} = 1 - \frac{1}{D}.$$

Еквівалентна індуктивність $L_{\text{е}}$ якірного кола:

$$L_{\text{е}} = 2L_1 + 2L_2' + L_{\text{зр}} + 2L_{\text{тр}}, \text{ де } L_2' = \frac{X_2'}{2\pi f_{1\text{ном}}}, L_1 = \frac{X_1}{2\pi f_{1\text{ном}}}, L_{\text{тр}} = \frac{X_{\text{тр}}}{2\pi f_{1\text{ном}}}.$$

Еквівалентна стала часу $\text{T}_{\text{е}}$ та коефіцієнт $K_{\text{м}}$ за моментом:

$$\text{T}_{\text{е}} = L_{\text{е}}/R_{\text{е}}, K_{\text{м}} = M_{max}/I_{d.max}.$$

Стала часу T_{μ} та коефіцієнт передачі $K_{\text{ТП}}$:

$$\text{T}_{\mu} = 0.01 \text{ с}, K_{\text{ТП}} = \frac{U_{dmax}}{U_{Kmax}} = \frac{1.35U_{2\text{трНом}}}{10},$$

де 1,35 - коефіцієнт передачі мостової схеми випрямляча за напругою.

Коефіцієнти передачі зворотного зв’язку за швидкістю – загальний $K_{\text{Ш}}$, тахогенератора $K_{\text{тг}}$ та датчика швидкості $K_{\text{дш}}$:

$$K_{\text{Ш}} = \frac{U_{\text{ОШ}max}}{\omega_{max}} = \frac{10}{\omega_{\text{ном}}}, K_{\text{тг}} = \frac{U_{\text{ТГном}}}{\omega_{\text{ТГном}}}, K_{\text{дш}} = \frac{K_{\text{Ш}}}{K_{\text{тг}}}.$$

Коефіцієнти передачі зворотного зв’язку за струмом – загальний $K_{\text{с}}$, шунта $K_{\text{ШН}}$ та датчика струму $K_{\text{ДС}}$:

$$K_{\text{с}} = \frac{U_{\text{ОС}max}}{I_{dmax}} = \frac{10}{M_{max}/K_M},\ K_{\text{ШН}} = \frac{U_{\text{ШН.НОМ}}}{I_{\text{ШН.НОМ}}},\ K_{\text{ДС}} = \frac{K_{\text{с}}}{K_{\text{ШН}}}.$$

Параметри ПІ – регулятора струму системи ПЧ-АД:

$$T_1 = T_e,\ T_2 = a_c T_\mu K_{\text{ТП}}\, K_{\text{С}}/R_e.$$

Параметри ПІ-регулятора швидкості та фільтру системи ПЧ-АД:

$$T_3 = a_{\text{ш}} a_c b_{\text{ш}} T_\mu,\ T_4 = T_3/K_{\text{РШ}},\ \text{де}\ K_{\text{РШ}} = \frac{K_{\text{С}} J}{a_{\text{ш}} a_c T_\mu K_{\text{М}} K_{\text{Ш}}}.$$

Налаштування системи ПЧ-АД з ПІ-регулятором швидкості на потрібну (номінальну) швидкість $\omega_{\text{п}}$ при розрахунковому (номінальному) моменті навантаження $\text{M}_{\text{СР}}$:

$$K_{\text{Ш}} = U_{\text{зш.п}}/\omega_{\text{п}},\ \text{де}\ U_{\text{зш.п}} = 10.$$

Коефіцієнти $a_{\text{ш}} = a_c = b_{\text{ш}} = 2$.

Згідно принципу подоби турбомашин, опишемо спрощену модель насоса:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2};\ \frac{H_1}{H_2} = \frac{{\omega_1}^2}{{\omega_2}^2};$$

$$\frac{Q_1}{Q_{\text{ном}}} = \frac{\omega_1}{\omega_{\text{ном}}};\ \frac{H_1}{H_{\text{ном}}} = \frac{{\omega_1}^2}{{\omega_{\text{ном}}}^2};$$

Витрата і натиск:

$$\begin{cases} Q_1 = \omega_1 \cdot \dfrac{Q_{\text{ном}}}{\omega_{\text{ном}}} = \omega_1 \cdot k_1 \\ H_1 = {\omega_1}^2 \cdot \dfrac{H_{\text{ном}}}{{\omega_{\text{ном}}}^2} = \omega_1 \cdot k_2 \end{cases}.$$

На основі схеми (рис. 3.6) і відповідних рівнянь побудовано модель системи автоматичного управління циркуляційного насосу системи опалення приміщення в середовищі Matlab/Simulink. Скрин моделі представлено на рисунку 3.7. Синтезовану модель зображено на рисунку 3.8, а реакцію

побудованої системи на одиничний вхідний сигнал показано на рисунку 3.9.

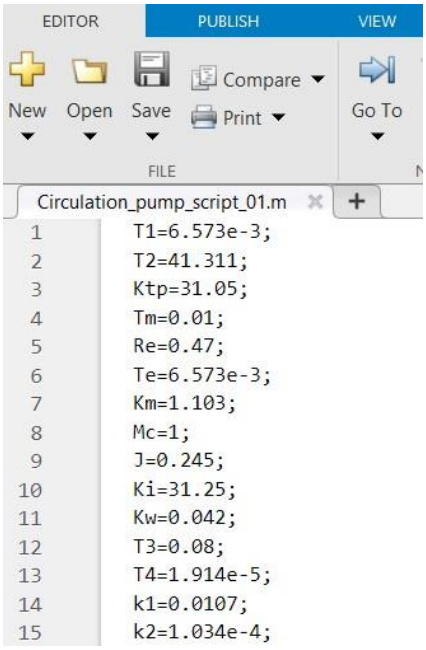


Рисунок 3.7 – Скрин моделі

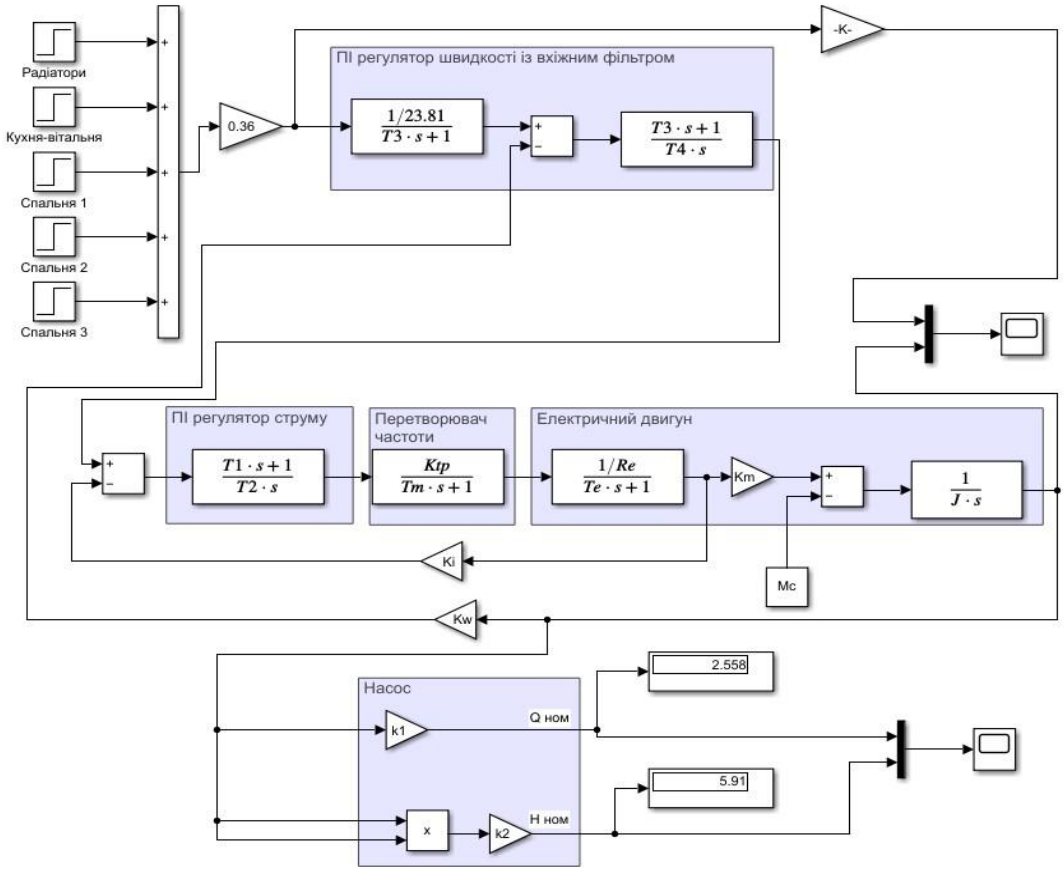


Рисунок 3.8 – Модель системи автоматичного управління циркуляційного насосу системи опалення індивідуально житлового будинку в середовищі Matlab/Simulink

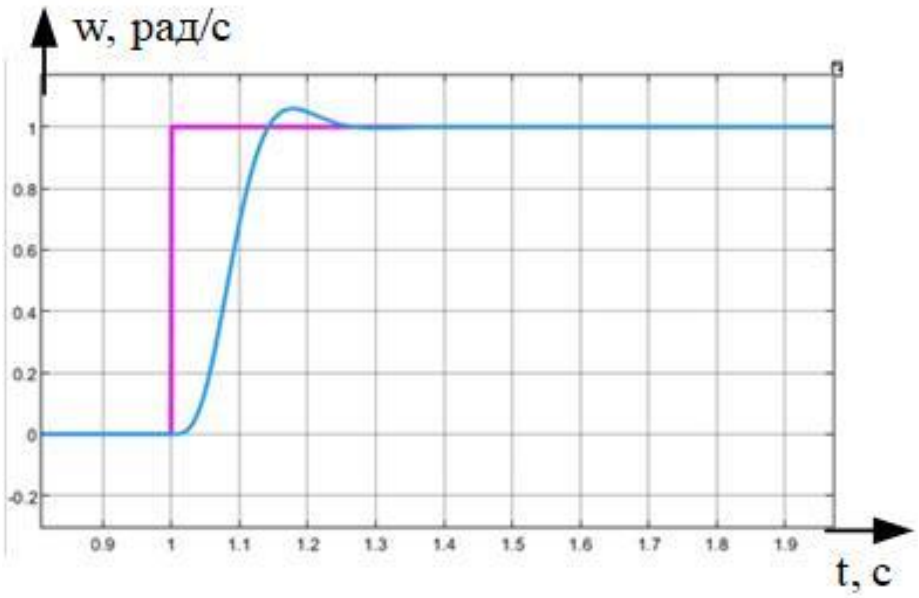


Рисунок 3.9 – Реакція системи на одиничний вхідний сигнал

Скористаємось припущенням, що в системі опалення працюють усі радіатори на повну потужність, потім послідовно підключається «тепла підлога» в різних частинах приміщення. Проведено моделювання із вищезазначеними умовами (рис. 3.10 і рис. 3.11).

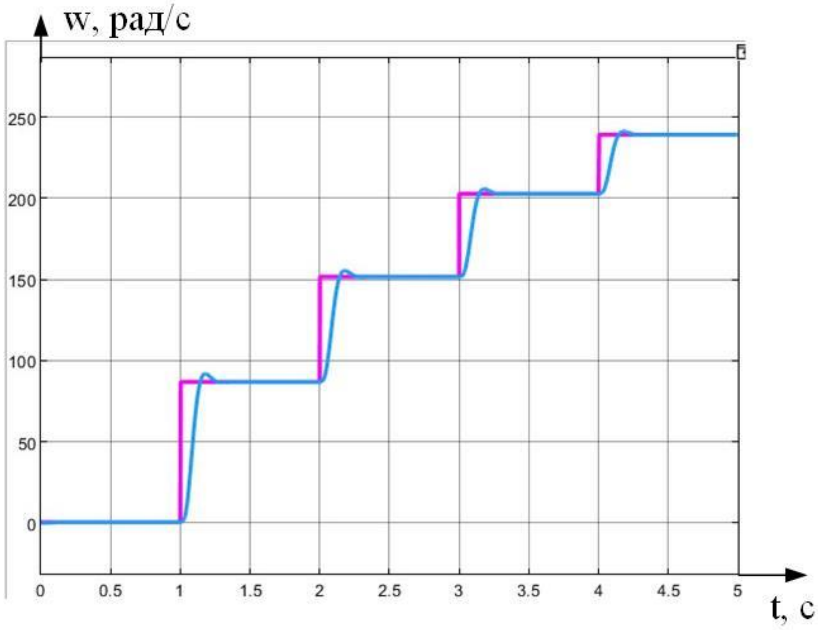


Рисунок 3.10 – Зміна швидкості обертання робочого колеса циркуляційного насосу в залежності від гідравлічного навантаження

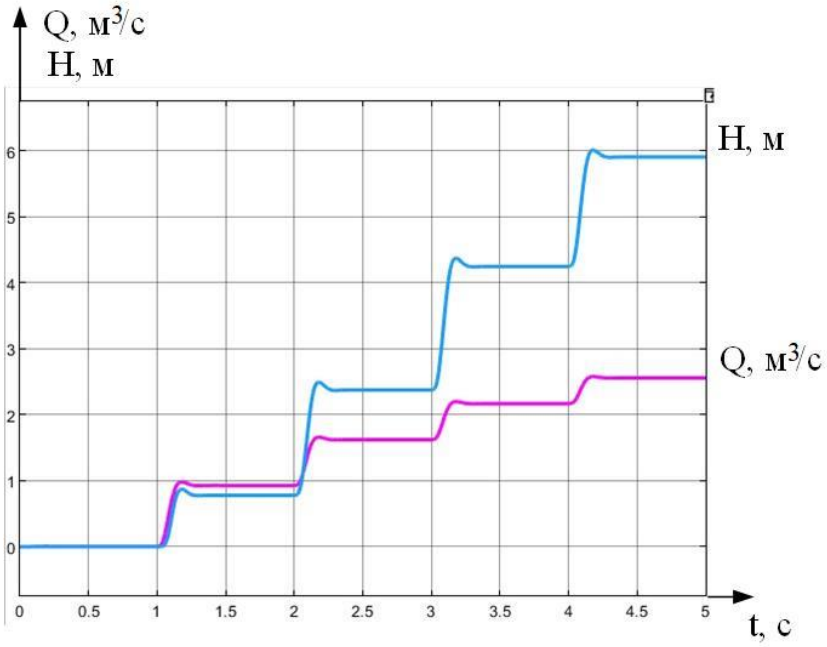


Рисунок 3.11 – Зміна напору і витрати циркуляційного насосу в залежності від гідравлічного навантаження

3.3 Автоматизація системи керування

Для забезпечення оптимальної роботи системи опалення індивідуального житлового будинку, було прийнято рішення про встановлення кімнатного терморегулятора. Його інтеграція дозволить регулювати режим роботи системи опалення в залежності від температури повітря в приміщенні, де встановлено цей прилад.

Терморегулятор котла опалення виконує роль пульта керування, на якому користувач встановлює бажану температуру повітря в приміщенні. Варто зазначити, що терморегулятор контролює саме температуру повітря, а не теплоносія. Якщо температура повітря перевищує встановлене значення, терморегулятор вимикає котел. У випадку зниження температури нижче встановленого рівня, терморегулятор знову вмикає котел, підтримуючи таким чином постійний комфортний мікроклімат у приміщенні.

Така система управління має кілька важливих переваг. По-перше, оскільки приміщення охолоджуються поступово, частота вмикання та вимикання котла зменшується, що сприяє продовженню терміну служби обладнання. По-друге,

оптимізація режиму роботи котла призводить до зниження витрат палива, що, у свою чергу, сприяє економії енергоресурсів та зменшенню експлуатаційних витрат.

Для розглядуваної системи опалення було обрано програмований пульт керування (програматор), який дозволяє задавати різні температурні режими в залежності від часу доби та дня тижня. Програматор надає можливість налаштувати роботу системи опалення таким чином, щоб температура знижувалася вночі або під час відсутності мешканців, а підіймалася в періоди активного використання приміщень. Такий підхід не лише підвищує комфорт, але й забезпечує додаткову економію енергоресурсів.

Вибір програмованого терморегулятора. На підставі аналізу ринку та технічних характеристик різних моделей, для нашої системи було обрано програмований терморегулятор, який задовольняє наступним вимогам:

- можливість програмування різних температурних режимів на кожен день тижня;

- функція віддаленого керування через мобільний додаток або веб-інтерфейс;

- вбудовані датчики температури та вологості для більш точного контролю мікроклімату;

- сумісність з електричним котлом «Dnipro "КЕО-міні" 24кВт» та циркуляційним насосом Grundfos ALPHA2 25-60 N 180.

Інтеграція даного терморегулятора в систему опалення дозволить досягти високого рівня автоматизації та ефективності управління температурним режимом у житловому будинку, забезпечуючи комфортні умови проживання та оптимальне використання енергоресурсів (рис. 3.12).

Побудуємо схему з’єднання всіх елементів нашої інтелектуальної системи опалення, що буде включати в себе всі наші розрахунки та обрані прилади для безперебійної роботи нашої системи.



Рисунок 3.4 – Зовнішній вигляд регулятора температури Salus 091FLRFV2

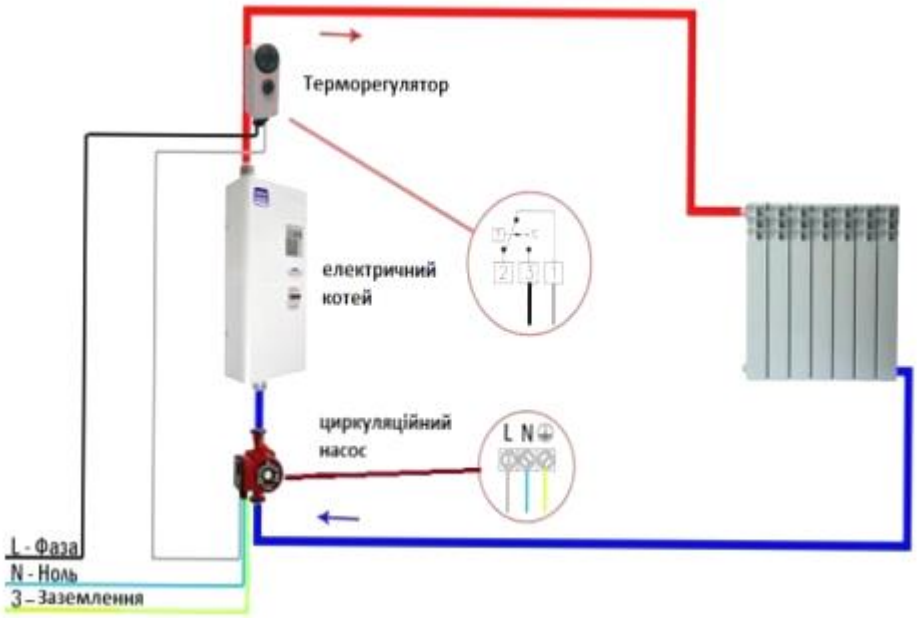


Рисунок 3.5 – Схема з’єднання елементів інтелектуальної системи опалення

Підключення та налаштування системи опалення

Для забезпечення ефективної роботи системи опалення, підключаємо наступні прилади:

- терморегулятор Salus 091FLRFV2;
- 134 секції радіаторів Condor A 350-80;
- електричний котел Tenko Економ 10.5 380;

- циркуляційний насос «Dnipro "КЕО-міні" 24кВт»;

- схема підключення приладів:

Терморегулятор Salus 091FLRFV2:

Встановлюється в головному приміщенні будинку для точного контролю температури повітря. Підключається до електричного котла для керування його роботою. 134 секції радіаторів Condor A 350-80. Розподіляються по всьому будинку згідно з планом приміщень. Підключаються до системи водяного опалення через двотрубну схему під'єднання, яка мінімізує теплові втрати. Електричний котел Tenko Економ 10.5 380: підключається до основного джерела живлення. З'єднується з системою водяного опалення, забезпечуючи підігрів теплоносія. Циркуляційний насос «Dnipro "КЕО-міні" 24кВт». Встановлюється в магістральному трубопроводі для забезпечення циркуляції теплоносія по всій системі опалення. Підключається до електричного котла для синхронізації роботи. Налаштування терморегулятора. Процедура налаштування терморегулятора Salus 091FLRFV2. Встановлення граничної температури: на терморегуляторі задаємо комфортну температуру для проживання в Україні – 20 °С.

Режим роботи котла. Якщо температура повітря в приміщенні вище 20°С, терморегулятор подає сигнал для вимкнення котла. Якщо температура нижче 20°С, терморегулятор активує котел, забезпечуючи підігрів теплоносія до необхідного рівня. Налаштування графіка роботи: терморегулятор Salus 091FLRFV2 дозволяє програмувати різні температурні режими на різний час доби і дні тижня.

Встановлюємо оптимальний графік роботи, враховуючи час присутності мешканців у будинку та їхні індивідуальні потреби в теплі. Режим підтримання температури. Терморегулятор вимірює температуру повітря в приміщенні. Якщо температура перевищує встановлене значення (20°С), подається сигнал для вимкнення котла. Якщо температура опускається нижче 20°С, котел запускається, підігріваючи теплоносій до потрібної температури. Швидкість обертання насосу регулюється в залежності від гідравлічного навантаження,

забезпечуючи оптимальну циркуляцію теплоносія і мінімальні енергозатрати.

Погодинне налаштування терморегулятора. Терморегулятор має 8 зашитих з заводу погодинний програм, що відповідають зміні сезону. Налаштуємо за допомогою кнопок на режим роботи, що є найбільш актуальним взимку.

ВИСНОВОК

У дипломній роботі було вирішено важливе завдання підвищення енергоефективності двоповерхового приміщення шляхом застосування автоматизованої системи опалення.

В роботі розглянуто і вивчено різні способи опалення, включаючи електричні котли з ТЕНами, інфрачервоні обігрівачі, електричні конвектори і радіатори.

У роботі було проведено розрахунки системи електропостачання та вибір електричного обладнання. Зокрема, розраховано сучасну систему освітлення з використанням методів питомої потужності та точкового методу, обрано основні електроприймачів та розраховано потрібну потужність освітлювального трансформатора.

Обрана систему опалення. Вибрано двотрубну колекторну схему комбінованого опалення з радіаторами та системою «тепла підлога». Проведено розрахунок втрат в системі опалення та моделювання системи управління циркуляційним насосом.

Також в роботі запропонована система автоматизації за допомогою регулятора температури Salus з вісьмома програмами режимів роботи.

В результаті проведених розрахунків встановлено, що використання автоматизованої системи опалення сприятиме значній економії електроенергії та забезпечить високий рівень комфорту для мешканців будинку. Такий підхід до проектування та реалізації системи опалення є сучасним та ефективним з точки зору енергоефективності та безпеки експлуатації.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. IEEE Std 519-1992 // IEEE Recommend practices and Requirements for harmonic control in electrical power system
2. Тітов, Ю. П. Насосні станції водопостачання і водовідведення [Текст] / Ю. П. Тітов, М. М. Яковенко. Навчально-методичний посібник. – Харків, 2004. – 203 с.
3. https://awtceft.com/2201-avtomatizacya-sistem-opalennya.html
4. https://teploceramic.ua/ua/sistemy-otopleniya-doma-sravnenie-ch-1.html
5. https://alterair.ua/stati/elektricheskoe-otoplenie/
6. https://www.remontlviv.top/elektrychne-opalennia-lviv/
7. https://mycond-heatpump.com.ua/ua/naybilsh-efektivne-ta-ekonomichne- opa/
8. https://www.salus.in.ua/FAILE/manual/091flrfv2.pdf
9. https://www.teplodvor.ru/rascheti/raschet-kotla/
10. https://teplopolis.com.ua/novosti/kak-rasschitat-kotel-dlia-otopleniia
11. ttps://spbteplodom.com/novosti/news_post/kak-rasschitat-kolichestvo- radiatorov
12. https://www.inklimat.ru/catalog/otoplenie/radiatory/condor/350-80/
13. https://homemasters.ru/articles/santekhnika-i-otoplenie/elektricheskie- kotly-ekologichnoe-otoplenie
14. Попович, Н. Г. Электромеханические системы автоматизации и задача энергосбережения [Текст] / Н. Г. Попович, Н. В. Печник // Вісник ХДПУ. Збірка наукових праць: Тематичний випуск 113. – Харків: ХДПУ, 2000. – С. 297–300
15. ttps://alfatep.ru/article/kotly_otopleniya/ekologichnye_kotly/
16. https://aqua-life.ua/kak-vybrat-cirkuljacionnyj-nasos/
17. ttps://valtec.ru/catalog/nasosnoe_oborudovanie/nasosy_cirkulyacio

nnye_dlya_gvs/nasos_cirkulyacionnyj_dlya_gvc_s_rejimom_chastotnogo_regul iro vaniya.html

18. https://termogorod.ru/termostaty-i-programmatory/termostaty-i-termogolovki-salus/salus-091flrf

19. ttps://zak-kor.net/70973-osoblivost-ta-perevagi-elektrokotlv.html

20. https://optimax.ua/uk/articles/yakyy-variant-opalennya-naybilsh-ekonomichnyy-dlya-pryvatnogo-budynku

21. https://nasos.ltd.ua/spravka/tipovye-shemy-podkliucheniia-i-printsip-deistviia-nasosov-i-avtomatiki

22. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ-2018). Вид. офіц Харків: Форт, 2018**.**

23. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою»

24. Наказ МВС від 28.10.2020 року №756 «Про затвердження Змін до правил експлуатації та типових норм залежності вогнегасників»