

ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет електроенергетики та електромеханіки

(повне найменування факультету)

Кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного

(повна назва кафедри)

менеджменту

Бакалаврська кваліфікаційна робота на тему:

Підвищення енергоефективності котельні комунального підприємства
"Вінницяоблтеплоенерго". Електрична частина

Виконав: студент 4-го курсу, групи ЕЕ-216
спеціальності 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)

Іван СТЕПАНЮК

(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доц. каф. ЕСЕЕМ

Олексій БАБЕНКО

(прізвище та ініціали)

« 17 » червня 2025 р.

Рецензент У.т.н., доцент каф. ЕСС

Володимир Нетребський

(прізвище та ініціали)

« 17 » червня 2025 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ЕСЕЕМ

проф. Бурбело М.Й.

(прізвище та ініціали)

« 16 » 06 2025 р.

ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Галузь знань – 14 Електрична інженерія
Освітній ступінь – бакалавр
Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітня програма – Електропостачання та енергозбереження

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ЕСЕМ
д.т.н., проф., Бурбело М.Й.

« 20 » 03 2025 р.

ЗАВДАННЯ
НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
Степанюку Івану Сергійовичу

1. Тема роботи Підвищення енергоефективності котельні комунального підприємства "Вінницяоблтеплоенерго". Електрична частина
Керівник роботи Бабенко Олексій Вікторович, к.т.н., доцент затверджені наказом по ВНТУ від « 20 » березня 2025 року, № 97

2. Термін подання студентом роботи «09» червня 2025 року.

3. Вихідні дані: Генплан підприємства, відомості про електричні навантаження підприємства (Додаток А), відомості про особливості технологічних процесів, відомості про джерела живлення; відомості про перспективу розвитку підприємства.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки
ВСТУП

АНОТАЦІЯ

АННОТАЦІЯ (ABSTRACT)

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПІДПРИЄМСТВО

1.1 Короткий опис технологічних процесів

1.2 Відомості про електроспоживачів та їх характеристика

2 РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

2.1 Розрахунок електричних навантажень підприємства

2.2 Вибір провідників та комутаційно-захисної апаратури

2.3 Розрахунок струмів КЗ і перевірка перерізу ліній та автоматичних вимикачів

Висновки

3 ОБГРУНТУВАННЯ ЗАХОДІВ З ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ КОТЕЛЬНОЇ

3.1 Вплив компенсації реактивної потужності на підвищення енергоефективності котельні

3.2 Визначення потужності компенсаційної установки

3.3 Зниження втрат електроенергії в системі електропостачання внаслідок компенсації реактивної потужності

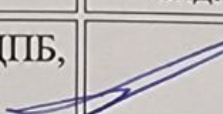
3.4 Зниження енергоспоживання мережних насосів внаслідок застосування частотних перетворювачів

Висновки
4 ОХОРОНА ПРАЦІ
ВИСНОВКИ
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ
ДОДАТКИ

5. Перелік графічного матеріалу.

- План котельні і силової мережі
- Однолінійна схема електропостачання підприємства
- Креслення із спецпитання

6. Консультанти розділів роботи

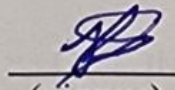
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання при
Охорона праці	Кобилянський О.В., зав. кафедри БЖДПБ, д.пед.н., професор		

7. Дата видачі завдання « 28 » 04 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного роботи	Строк виконання етапів роботи	Пр
1	Аналіз інформації про підприємство	28.04-05.05	вкл
2	Розрахунок системи електропостачання підприємства	06.05-14.05	вкл
3	Науково-дослідна частина	15.05-25.05	вкл
4	Охорона праці	26.05-31.05	вкл
5	Оформлення пояснювальної записки, графічного матеріалу та презентації	01.06-08.06	вкл

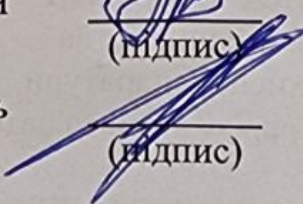
Студент


(підпис)

Керівник бакалаврської
кваліфікаційної роботи


(підпис)

Нормоконтроль


(підпис)

Іван СТЕПАНЮК
(прізвище та ініціали)

Олексій БАБЕНКО
(прізвище та ініціали)

Юрій ВОЙТЮК
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Степанюк І.С. Підвищення енергоефективності котельні комунального підприємства "Вінницяоблтеплоенерго". Електрична частина. Бакалаврська кваліфікаційна робота. 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. ФЕЕЕМ. Кафедра ЕСЕЕМ – Вінниця: ВНТУ, 2025

Бакалаврська дипломна робота складається з 67 сторінки формату А4, які містять 16 рисунків та 18 таблиць, список використаної літератури та інших джерел інформації містить 20 найменувань.

Метою роботи є провести дослідження системи електропостачання котельні комунального підприємства "Вінницяоблтеплоенерго" і розробити заходи з підвищення енергоефективності.

Здійснено розрахунки електропостачання котельні, вибрано комутаційно-захисну апаратуру та провідники електричної мережі. Запропоновано заходи з підвищення енергоефективності підприємства: використання компенсації реактивної потужності та живлення електропривода мережного насосу від частотного перетворювача.

У четвертому розділі були розроблені заходи з охорони праці на підприємстві. Вирішені питання з безпечної експлуатації об'єкту та гігієни праці і виробничої санітарії, виконані дії з пожежної безпеки.

Ключові слова: компенсація реактивної потужності, кабельна лінія, частотний перетворювач.

ABSTRACT

Stepanyuk I.S. Increasing the energy efficiency of the boiler house of the municipal enterprise "Vinnytsiaoblteploenergo". Electrical part. Bachelor's qualification work. 141 – Electric power, electrical engineering and electromechanics. FEEEM. Department of ESEEM – Vinnytsia: VNTU, 2025

The bachelor's thesis consists of 67 pages of A4 format, which contain 16 figures and 18 tables, the list of used literature and other sources of information contains 20 items.

The purpose of the work is to conduct a study of the power supply system of the boiler house of the municipal enterprise "Vinnytsiaoblteploenergo" and develop measures to increase energy efficiency.

Calculations of the boiler room's power supply were made, switching and protective equipment and electrical network conductors were selected. Measures to increase the energy efficiency of the enterprise were proposed: the use of reactive power compensation and power supply of the network pump electric drive from a frequency converter.

In the fourth section, occupational safety measures at the enterprise were developed. Issues of safe operation of the facility and occupational hygiene and industrial sanitation were resolved, and fire safety actions were taken.

Keywords: reactive power compensation, cable line, frequency converter.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПІДПРИЄМСТВО	9
1.1 Короткий опис технологічних процесів	9
1.2 Відомості про електроспоживачів та їх характеристика	12
2 РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ	14
2.1 Розрахунок навантажень котельні	14
2.2 Вибір схеми електропостачання споживачів котельні	18
2.3 Вибір комутаційно-захисної апаратури та провідників котельні	19
2.4 Розрахунок струмів КЗ і перевірка перерізу ліній та автоматичних вимикачів	25
2.5 Підвищення надійності електропостачання котельні	27
3 ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ КОТЕЛЬНОЇ	32
3.1 Вплив компенсації реактивної потужності на підвищення енергоефективності котельні	32
3.2 Визначення потужності компенсаційної установки	36
3.3 Зниження втрат електроенергії в системі електропостачання внаслідок компенсації реактивної потужності	37
3.4 Зниження енергоспоживання мережних насосів внаслідок застосування частотних перетворювачів	40
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	43
4.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта	44
4.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць	44
4.1.2 Електробезпека	47
4.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії	48
4.2.1 Мікроклімат	48
4.2.2 Склад повітря робочої зони	48
4.2.3 Виробниче освітлення	49
4.2.4 Виробничий шум	51
4.2.5 Виробничі вібрації	51
4.3 Пожежна безпека	52
ВИСНОВКИ	55
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	56
ДОДАТКИ	58

ДОДАТОК А	59
ДОДАТОК Б	63
ДОДАТОК В	64
ДОДАТОК Г	66

ВСТУП

Актуальність теми: Сучасні промислові підприємства в Україні виступають одними з головних споживачів електроенергії, тому питання її ефективного та збалансованого розподілу набуває дедалі більшої ваги. Реальні умови функціонування енергетичних систем ускладнюються постійним посиленням вимог до стабільності живлення, технічної якості електроенергії та безперервності її подачі. Ці обставини вимагають переосмислення підходів до організації системи електропостачання на підприємствах [1, 2].

В рамках цієї роботи передбачається впровадження електропостачальної системи, що задовольняє комплекс умов, критично важливих для безпечної та надійної роботи виробничого середовища. До основних вимог відносяться:

- високий ступінь надійності функціонування, що дозволяє уникати перебоїв та забезпечує стійкість до можливих аварій;
- раціональне використання ресурсів, з урахуванням економічної ефективності обладнання і витрат на його експлуатацію;
- дотримання вимог безпеки як для обслуговуючого персоналу, так і для кінцевих користувачів електроенергії;
- відповідність показників якості напруги та струму чинним нормативно-технічним вимогам.

Для реалізації зазначених завдань необхідно обирати виключно перевірені й надійні компоненти — зокрема, трансформаторне обладнання, силові й розподільчі кабелі, автоматику захисту та контролю, апаратуру релейного захисту тощо. Водночас надзвичайно важливо провести точні розрахунки навантаження, враховуючи не лише стандартні робочі умови, але й потенційні надзвичайні ситуації. Такий комплексний інженерний підхід

дозволяє зменшити ризики технічних збоїв, підвищити загальний рівень енергоефективності об'єкта та забезпечити довгострокову стабільність його електропостачання..

Мета роботи: провести дослідження системи електропостачання котельні комунального підприємства "Вінницяоблтеплоенерго" і розробити заходи з підвищення енергоефективності.

Об'єкт дослідження: котельня комунального підприємства "Вінницяоблтеплоенерго".

Предмет дослідження: рішення для побудови системи електропостачання котельні комунального підприємства "Вінницяоблтеплоенерго", яка характеризується підвищеною ефективністю електроспоживання.

Завдання наукового дослідження: Ключовими напрямками при виконанні цієї роботи є створення технічно обґрунтованих рішень для формування стабільної та зручної у використанні системи електрозабезпечення, а також впровадження комплексу дій, спрямованих на дотримання вимог охорони праці.

Методи розрахунку. У бакалаврській роботі використано сучасні методи збору і обробки даних, систематизації та розрахунку, аналізу матеріалу.

Апробація дослідницьких результатівщо опубліковані в тезах доповіді [4].

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПІДПРИЄМСТВО

1.1 Короткий опис технологічних процесів

Комунальне підприємство "Вінницяоблтеплоенерго" — провідний постачальник теплової енергії та гарячого водопостачання у Вінниці та Вінницькій області. Підприємство було створене у 2006 році в результаті реорганізації попередньої структури, яка функціонувала з 1970 року.

На балансі підприємства знаходяться:

- 68 котелень;
- 7 центральних теплових пунктів;
- 48,3 км теплових мереж (у тому числі 21,4 км — з попередньою ізоляцією);
- насосні станції, майстерні, електрощитові установки та інші об'єкти інженерної інфраструктури.

Загальна встановлена теплова потужність становить 136,749 Гкал/год.

Підприємство має ліцензії на:

- виробництво, транспортування та постачання теплової енергії;
- виконання робіт підвищеної небезпеки, зокрема монтаж, ремонт і технічне обслуговування котельного обладнання.

У відповідь на сучасні виклики в енергетиці, підприємство активно впроваджує альтернативні джерела енергії: будує модульні котельні на твердому паливі та оснащує об'єкти резервними джерелами електроживлення для забезпечення безперебійної роботи.

Короткий опис технологічного процесу

Дана водогрійна котельня обслуговує вузол лікарняних та геріатричних закладів у м. Вінниці. Особливістю такої котельні є сезонний характер її роботи. Адже котельня працює тільки для забезпечення потреб опалення.

Сумарна потужність споживачів опалення складає 8 МВт. Котельня призначена для роботи з закритими системами водяного опалення. Котельня оснащена двома котлами BRS 2500 LM потужністю 2,5 МВт кожний та двома

газовими ARS 2000 BMT потужністю 2 МВт кожний. ККД котлів за паспортом 92% за умови встановлення циклонів утилізаторів. Робочий тиск в системі 0,3 МПа. Температура теплоносія 95°C. Температура продуктів згорання за твердопаливними котлами 160 °C.

До допоміжного обладнання котельні відноситься змонтоване безпосередньо на підлозі котельні або на трубопроводах і з'єднане між собою комунікаціями обладнання, яке забезпечує автоматичну і безпечну роботу котельні у відповідності до ТУ У 25.2-38718237-001:2014:

- станція водопідготовки;
- насоси; - розширювальний мембранний бак;
- бак запасу підготовленої води.

Станція водопідготовки призначена для помягчення холодної господарсько-питтєвої води яка використовується для заповнення і підживлення приєднаної до котельні системи опалення.

Насосна станція призначена для автоматичного підживлення приєднаної до котельні системи опалення. Управління підживленням проводиться по сигналу реле тиску. Насос контуру опалення разом з запірною і регулюючою арматурою та колектором складають розподільчий вузол, який постачається після погодження з Замовником.

Бак запасу підготовленої води призначений для забезпечення роботоздатності котельні у випадках відсутності тиску води в господарсько-питтєвому водопроводі, або при регенерації станції водопідготовки. Бак обладнано вбудованим клапаном заповнення поплавкового типу, патрубками переливу, дренажу і підключення до підживлюючих насосів.

Кожний котел забезпечується відокремленою димовою трубою, твердопаливні котли підключені до цегляної труби. Для проведення режимного налагодження в димоходах допускається виконання отворів для зонду газоаналізатора. Після проведення замірів отвори повинні бути закриті в надійний спосіб.

Трубопроводи котельні із змонтованою на них арматурою і обладнанням перевірені на герметичність в зібраному вигляді в заводських умовах. Після кожного випадку транспортування (або переміщення) котельні необхідне проведення перевірки герметичності всіх роз'ємних з'єднань трубопроводів і обладнання. Кожен твердопаливний котел обладнаний циркуляційними насосами для відбору води з бака-акумулятора. Всі котли обладнані лініями рециркуляції для уникнення низькотемпературної корозії або зменшення її інтенсивності.

Біля твердопаливних котлів лінії рециркуляції проходять через циклоні-теплоутилізатори, нагріваючи при цьому мережну воду перед зворотний трубопроводом. Температуру води на вході в котлі необхідно підтримувати вище температури точки роси димових газів. Теплова схема передбачає постійну витрату води через котел і підтримання температури в зворотному трубопроводі не менше заданої (60°C). Задана температура підтримується перепуском мережної води із прямого в зворотній трубопровід.

Для видалення повітря із системи на трубопроводі встановлюються повітровипускні вентиля. На виході із котла встановлена група безпеки котла, яка складається з манометра, термометра та запобіжного клапана. Зливний трубопровід від запобіжного клапана виведений окремою лінією. Для запобігання протитоку теплоносія на лінії рециркуляції, підживлювальному трубопроводі і після мережних насосів передбачено встановлення зворотних клапанів. Для зливу води із котлів передбачений дренажний трубопровід.

1.2 Відомості про електроспоживачів та їх характеристика

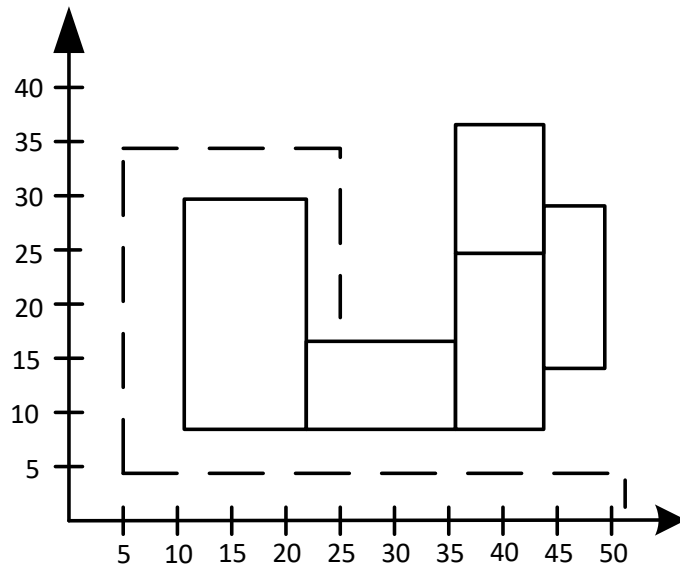


Рисунок 1.1 - Генплан підприємства

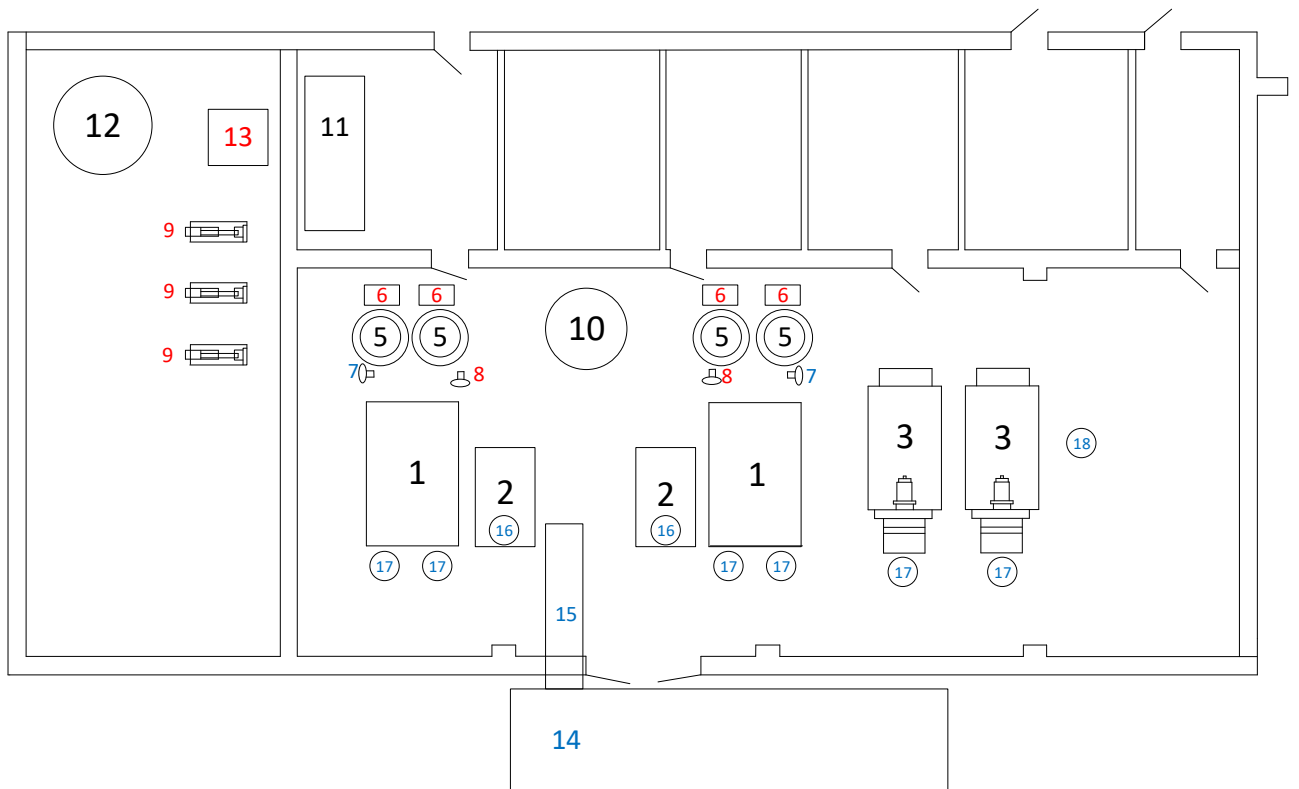


Рисунок 1.2 - План котельні з розташуванням споживачів

Таблиця 1. 2 - Відомості про електричні навантаження цеху

	Споживачі	Потужність
1	Котел твердопаливний BRS 2500 LM	
2	Бункер щеповий 3м ³	
3	Котел газовий ARS 2000 BMT	
5	Циклон-утилізатор МЦ-У-1500	
6	Димосос Д 3,5М	1.5 кВт
7	Насос рециркуляції через циклон-утилізатор GHN 40-129F	0.57 кВт
8	Насос котловий GHN 100-120F	2.3 кВт
9	Насос мережний Hydrovacuum MVA 65-200A 1100	2.2 кВт
10	Акумуляційна ємність 5 м ³	
11	Станція хімводоочищення	
12	Бак зберігання хімочищеної води 5 м ³	
13	Гідрофорна станція підняття тиску тип ZHF.3.05.2.3009.2	0.5 кВт
14	Живе дно	30 кВт
15	Конвеєр	5 кВт
16	Ворошитель	2 кВт
17	Вентилятор	0,5 кВт
18	Циркуляційний насос системи гарячого водопостачання	0,5 кВт

2 РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

2.1 Розрахунок навантажень котельні

Розрахування електричних навантажень котельні робимо методом коефіцієнта використання [3].

З метою приведення розрахунку навантаження котельні взято два електроприймачі які приведені до РП2:

- Димосос Д 3,5М (4) $K_B=0,69$;
- Насос котловий GHN 100-120F (1) $K_B=0,43$.

Розраховуємо їхню середню активну і реактивну потужність:

1. Димосос Д 3,5М (4):

$$P_c = n \cdot P_H \cdot K_B = 4 \cdot 1,5 \cdot 0,69 = 4,14 \text{ (кВт)},$$

$$Q_c = n \cdot P_H \cdot K_B \cdot \operatorname{tg} \varphi = 4,14 \cdot 0,88 = 3,65 \text{ (квар)};$$

Розрахункові потужності для окремих електроприймачів дорівнюють їх номінальним значенням. Наприклад для димососа Д 3,5М $P_p = P_H = 1,5$ (кВт), а реактивна потужність дорівнює $Q_p = P_H \cdot \operatorname{tg} \varphi = 1,5 \cdot 0,75 = 1,32$ (квар).

2. Насос котловий GHN 100-120F (1):

$$P_c = n \cdot P_H \cdot K_B = 1 \cdot 2,3 \cdot 0,43 = 0,989 \text{ (кВт)},$$

$$Q_c = n \cdot P_H \cdot K_B \cdot \operatorname{tg} \varphi = 0,989 \cdot 1,02 = 1,01 \text{ (квар)}.$$

Розрахункові навантаження РП-2 визначаємо наступним чином:

$$K_B = \frac{\sum n P_H K_B}{\sum n P_H} = 0,62,$$

$$n_e = \frac{(\sum n P_H)^2}{\sum n P_H^2} = 4,82,$$

де k_B – з таблиці 24-3 [1].

З [2] $K_M = 1,1$. Визначаємо розрахункові потужності для розподільчого пристрою РП2:

$$P_M = K_M K_B n P_H = 5,7 \text{ (кВт)},$$

$$Q_M = 1,1 K_B n P_H \operatorname{tg} \varphi = 5,13 \text{ (квар)}.$$

$$S_M = \sqrt{P_M^2 + Q_M^2} = \sqrt{5,7^2 + 5,13^2} = 7,7 \text{ (кВА)}.$$

Інші розрахунки навантаження котельні здійснюємо аналогічно. Результати розрахунків демонструємо в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Розрахунок силового навантаження котельні

Найменування ЕП	п, шт	P _н , кВт	P _н ² , кВт	п·P _н , кВт	K _в	cos(f)	tgφ	п·P _н ·K _в , кВт	п·P _н ·K _в ·tgφ, квар	п·P _н ²	пe	K _р	P _р , кВт	Q _м , квар	S _м , кВА	I _р ,А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
РП-1																
Насос мережний Hydrovacuum MVA 65- 200A 1100 (9)	3	22	484	66	0,43	0,7	1,02	28,38	28,95	1452			22,00	22,44	31,43	47,75
Гідрофорна станція підняття тиску тип ZHF.3.05.2.3009.2 (13)	1	0,5	0,25	0,5	0,17	0,75	0,9	0,085	0,07	0,25			0,50	0,44	0,67	1,01
Всього РП-1	4			66,5	0,43			28,47	29,03	1452,3	3,05	1,45	41,27	31,93	52,18	79,29
РП-2																
Димосос Д 3,5М (6)	4	1,5	2,25	6	0,69	0,75	0,88	4,14	3,65	9			1,5	1,32	2,00	3,04
Насос котловий GHN 100-120F (8)	1	2,3	5,29	2,3	0,43	0,7	1,02	0,989	1,01	5,29			2,3	2,35	3,29	4,99
Всього РП-2	5			8,3	0,62			5,13	4,66	14,29	4,82	1,12	5,7	5,13	7,70	11,70
РП-3																
Насос рециркуляції через циклон-утилізатор GHN 40-129F (7)	1	0,57	0,32	0,57	0,43	0,7	1,02	0,2451	0,25	0,3249			0,57	0,28	0,63	0,96
Живе дно (14)	1	30	900	30	0,10	0,75	0,88	3	2,65	900			30	2,91	30,14	45,79
Конвеєр (15)	1	5	25	5	0,25	0,45	1,98	1,25	2,48	25			5	2,73	5,70	8,65
Ворошитель (16)	1	2	4	2	0,20	0,75	0,88	0,4	0,35	4			2	0,39	2,04	3,10
Вентилятор (17)	2	0,5	0,25	1	0,20	0,75	0,88	0,2	0,18	0,5			0,5	0,19	0,54	0,81
Всього РП-3	6			38,57	0,13			5,10	5,91	929,82	1,60	6,00	30,5	6,50	31,25	47,48

Продовження таблиці 2.1 – Розрахунок силового навантаження котельні

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
РП-4																
Насос рециркуляції через циклон-утилізатор GHN 40-129F (7)	1	0,57	0,32	0,57	0,43	0,7	1,02	0,2451	0,25	0,3249			0,57	0,28	0,63	0,96
Ворошитель (16)	1	2	4	2	0,20	0,75	0,88	0,4	0,35	4			2	0,39	2,04	3,10
Вентилятор (17)	4	0,5	0,25	2	0,20	0,75	0,88	0,4	0,35	1			0,5	0,39	0,63	0,96
Циркуляційний насос системи гарячого водопостачання (18)	1	0,5	0,25	0,5	0,60	0,85	0,62	0,3	0,19	0,25			0,5	0,20	0,54	0,82
Всього РП-4	7			5,07	0,27			1,35	1,14	5,5749	4,61	1,60	2,1	1,26	2,49	3,79
ТП-ГРЩ	22			118,4	0,34			40,03	40,7	2401,9	5,8	1,20	48,04	44,81	65,69	99,81
Резервна ЕС-ГРЩ	9			74,8	0,45			33,59	33,69	1466,5	3,8	1,25	41,99	37,06	56,01	85,09

2.2 Вибір схеми електропостачання споживачів котельні

Для котельні вибираємо радіальну схему мережі.

Радіальні мережі передають електричну енергію до споживача окремою лінією. Радіальні схеми гарантують значну надійність електричного постачання, проте вимагають значних витрат на електричне бладнання та монтаж.

Оскільки електроприймачі розташовані в різних напрямках від РП, підведемо до них живлення окремими лініями, що виконані провідниками з мідними жилами в трубах.

План електропостачання котельні зображений на рисунку 2.1.

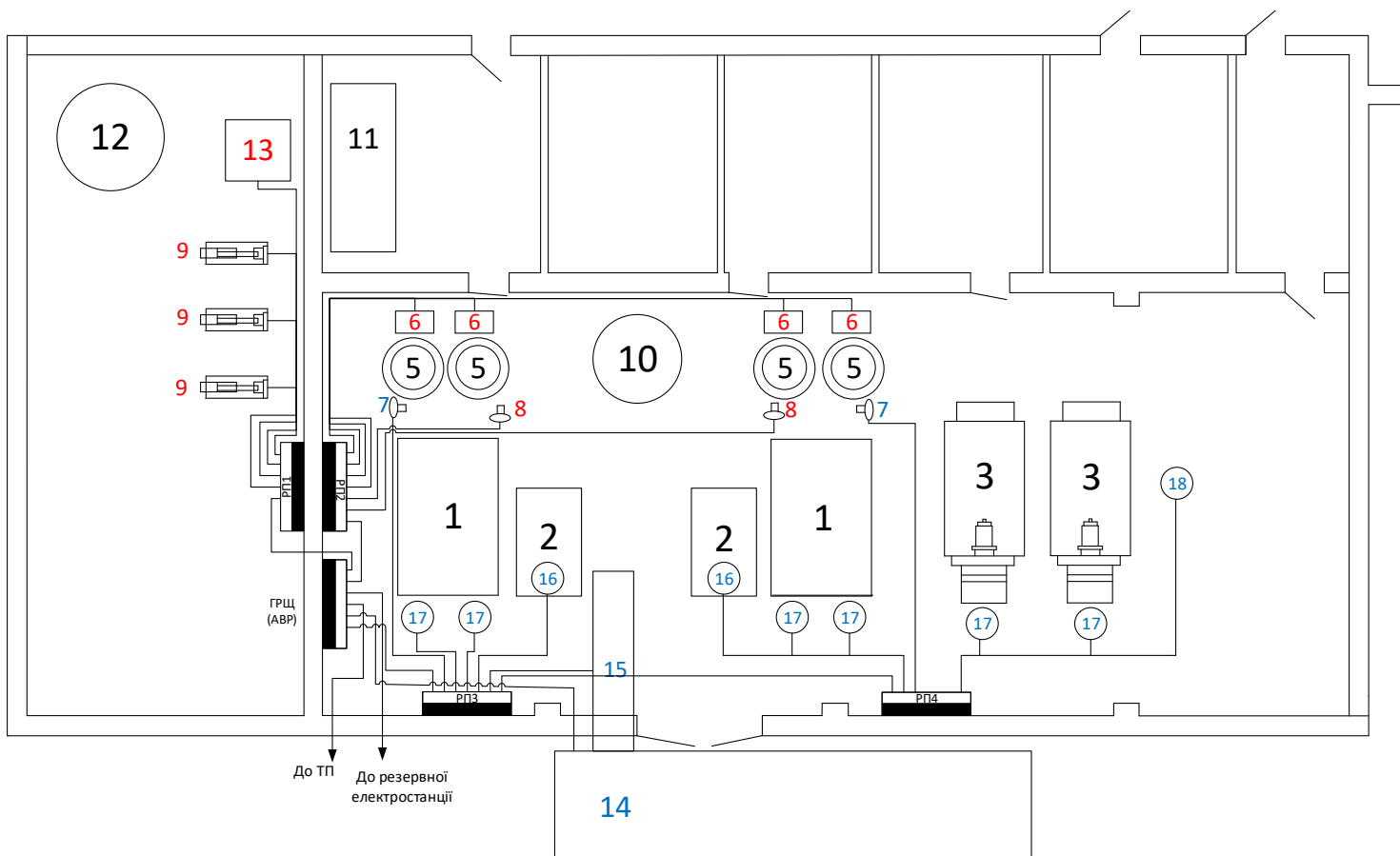


Рисунок 2.1 - План електропостачання котельні

2.3 Вибір комутаційно-захисної апаратури та провідників котельні

1. Перерізи ліній вибираються за допустимим струмом [3]:

$$I_{\text{дон}} \geq \begin{cases} I_p & \text{— для нормальних приміщень;} \\ 1,25 \cdot I_p & \text{— для вибухонебезпечних приміщень,} \end{cases}$$

де $I_{\text{дон}}$ — допустимий згідно ПУЕ струм вибраного перерізу лінії;

I_p — розрахунковий струм лінії.

$$s \geq s_{\Delta U}$$

де s — переріз провідника, мм²;

$s_{\Delta U}$ — переріз провідника, що забезпечує допустиму втрату напруги ΔU

В свою чергу втрати напруги визначаються, як:

$$\Delta U = \frac{P_p \cdot R_o + Q_p \cdot X_o}{U_n} \cdot \frac{L}{1000} (U_n \cdot 1000) \cdot 100, \text{ В}$$

де R_o, X_o — питомі відповідно активний та реактивний опори лінії живлення, Ом/км ;

P_p, Q_p — відповідно активна та реактивна розрахункові потужності, що протікають по лінії, кВт, квар;

U_n — номінальна напруга лінії, кВ;

l — довжина лінії, км.

2. Вибір автоматичних вимикачів здійснюватимемо з переліку сучасних і надійних вимикачів марки АВВ. Для захисту лінії ГРЩ-РП пропонуємо вимикач серії SACE Tmax XT4 з напівпровідниковим розчеплювачем Екір LS/I. Для

захисту ліній РП-ЕП пропонуємо вимикач серії SACE Tmax XT2 з напівпровідниковим розчеплювачем Ekip M-LIU.

Вибір вимикачів за умовами [3]:

$$I_{н.розч} \geq k_{відс} \cdot I_p;$$

$$I_{с.в.} \geq k_n \cdot I_n,$$

де $I_{н.розч}$ – номінальний струм розчіплювача;

$k_{відс}$ – коефіцієнт відстроювання захисту від перевантажень (для автоматичних вимикачів з напівпровідниковим розчіплювачем приймаємо рівним 1);

I_p – розрахунковий максимальний струм приєднаних споживачів електроенергії;

$I_{с.в.}$ – струм спрацювання відсічки;

k_n – коефіцієнт надійності відстроювання струмової відсічки (для автоматичних вимикачів з напівпровідниковим розчіплювачем приймаємо рівним 1,5);

I_n – піковий струм, що проходить через автоматичний вимикач.

Для групи електроприймачів піковий струм визначається за формулою

$$I_n = I_m - k_{\phi} I_{н.найб} + I_{п.найб}, (A),$$

де $I_{н.найб}$, $I_{п.найб}$ – номінальний і піковий струми ЕП, з найбільшим піковим струмом;

k_{ϕ} – коефіцієнт використання споживача з найбільшим піковим струмом.

Номінальний струм одного електроприймача дорівнює розрахунковому струму.

У разі відсутності заводських даних пусковий струм асинхронного електродвигуна з короткозамкнутим ротором або синхронного двигуна може бути прийнятий рівним п'ятикратному номінальному; пусковий струм двигуна постійного струму або асинхронного з фазним ротором повинен прийматися не нижчим від 2,5-кратного номінального струму; піковий струм пічних і електрозварювальних трансформаторів – не меншим від 3-кратного номінального (без приведення до $T_{ПВ} = 100\%$).

Приклад вибору комутаційно захисного апарату і перерізу лінії від РП1 до ЕП9.

$$I_{p1} = \frac{S_m}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \phi} = \frac{31,43}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,85} = 47,75 \text{ (A)};$$

Вибираємо чотири одножильних проводи, прокладених в трубах марки АПВ, перерізом 2,5 мм² (таблиця Б1, додаток Б).

Визначаємо втрату напруги в лінії, для цього визначимо розрахункові активну та реактивну потужності ЕП9:

$$P_p = P_n = 22 \text{ [кВт]};$$

$$Q_p = P_p \cdot \tan \phi = 22 \cdot 1,02 = 22,44 \text{ [квар]};$$

Враховуючи, що номінальна напруга лінії дорівнює 0,38 кВ, отримаємо втрати напруги

$$\Delta U = \frac{22 \cdot 2,130 + 22,44 \cdot 0,095}{0,38} \cdot \frac{6}{1000} (0,38 \cdot 1000) \cdot 100 \approx 0,20\%$$

Вибираємо автоматичний вимикач для лінії РП1-ЕП9:

$$I_{н.розч} \geq 60 \text{ [А]};$$

$$I_{\Pi} = 5 \cdot 60 = 300 \text{ (A)};$$

$$I_{c.v.} \geq 6 \cdot 60 = 360 \text{ (A)},$$

Вибираємо автоматичний вимикач серії SACE Tmax XT2 з напівпровідниковим розчіплювачем Ekip M-LIU :

Приклад вибору комутаційно захисного апарату і перерізу кабельної лінії від ТП до ГРЩ.

Вибираємо кабель марки ААБл 4×50

Визначаємо втрату напруги в лінії ,довжина якої 30 м (0,03 км).

Для цього визначимо розрахункові активну та реактивну потужності ТП-ГРЩ:

З таблиці Б3 додатку Б вибираємо питомі опори лінії, перерізом 4 мм²:

$$R_{\text{num}} = 0,769 \text{ Ом/км};$$

$$X_{\text{num}} = 0,066 \text{ Ом/км}.$$

Втрати напруги в лінії:

$$\Delta U \approx 2.76[\%],$$

Вибираємо автоматичний вимикач для лінії від ТП до ГРЩ:

$$I_{\text{н.найб}} = I_p = 47,75 \text{ (A)};$$

$$I_{\text{п.найб}} = I_{\Pi} = 238,75 \text{ (A)},$$

а піковий струм, що проходить через автоматичний вимикач, що захищає лінію від ТП до ГРЩ:

$$I_{\Pi} = 90,81 - 0,43 \cdot 47,75 + 238,75 = 318,03 \text{ [A]};$$

$$I_{c.v.} \geq 5 \cdot 110 = 550 \text{ (A)},$$

$$I_{\text{н.розч}} \geq 1 \cdot 110 \geq 110 \text{ [A]};$$

Вибираємо автоматичний вимикач серії SACE Tmax XT4 з напівпровідниковим розчіплювачем Ekip LS/I.

Аналогічно проводимо вибір автоматичних вимикачів для інших ліній. Результати розрахунків заносимо в таблицю 3. Результати обчислень демонструємо у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Результати вибору комутаційно-захисної апаратури

Лінія	I_p, A	I_n, A	Tmax XT4/XT2	Іном.в, А	$1,1 \cdot I_p,$ А	Ін.розч, А	$k_n \cdot I_n,$ А	Іс.в, А
РП1—ЕП9	47,75	238,75	Tmax XT2	160	52,53	60	358,13	360
РП1—ЕП13	1,01	5,06	Tmax XT2	160	1,11	2	7,60	12
ГРЩ—РП1	79,29	297,51	Tmax XT4	250	87,21	90	446,26	450
РП2—ЕП6	3,04	9,12	Tmax XT2	160	3,34	4	13,67	24
РП2—ЕП8	4,99	24,96	Tmax XT2	160	5,49	6	37,44	42
ГРЩ—РП2	11,70	34,51	Tmax XT4	250	12,87	15	51,77	60
РП3—ЕП7	0,96	4,81	Tmax XT2	160	1,06	2	7,21	12
РП3—ЕП14	45,79	228,97	Tmax XT2	160	50,37	60	343,46	360
РП3—ЕП15	8,65	43,27	Tmax XT2	160	9,52	10	64,91	70
РП3—ЕП16	3,10	15,48	Tmax XT2	160	3,40	4	23,22	24
РП3—ЕП17	0,81	4,07	Tmax XT2	160	0,90	1	6,11	7
ГРЩ—РП3	47,48	271,88	Tmax XT4	250	52,23	60	407,81	420
РП4—ЕП7	0,96	4,81	Tmax XT2	160	1,06	2	7,21	12
РП4—ЕП16	3,10	15,48	Tmax XT2	160	3,40	4	23,22	24
РП4—ЕП17	0,96	4,81	Tmax XT2	160	1,06	2	7,21	12
РП4—ЕП18	0,82	2,46	Tmax XT2	160	0,90	1	3,69	6
ГРЩ—РП4	3,79	18,64	Tmax XT4	250	4,16	10	27,97	30
ТП—ГРЩ	99,81	318,03	Tmax XT4	250	109,79	110	477,05	550
Р.ЕС—ГРЩ	85,09	303,31	Tmax XT4	250	93,60	100	454,97	500

Всі лінії в котельні монтуємо проводами з алюмінію в полівінілхлоридній ізоляції АПВ у рукавах зі сталі.

Від РЩ до РП-1 беремо переріз проводу враховуючи:

$$I_{\text{доп}} \geq I_M = 26,64 \text{ (A)}.$$

Допустимий тривалий струм для АПВ прокладених в сталевих рукавах складає 105 А, що відповідає перерізу 4(1х50).

Подібно обираємо переріз решти провідників.

Вибір шинопроводів робимо з урахуванням:

$$I_{\text{ном.ш}} = 250 \text{ A} \geq I_M = 65,37 \text{ A}.$$

Шинопроводи беремо типу ШРА 73 на номінальний струм 250 А, монтуємо на стійки на висоті 2,5 м.

Підсумки обчислень наводимо у табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Вибір провідників мережі котельні

Лінія	I_p, A	$I_n \text{ розч, A}$	Тип провідника	Спосіб прокладання	$S, \text{мм}^2$	$I_{\text{доп}}, \text{A}$	$L, \text{м}$	$U, \%$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ТП–ГРЩ	99,81	110,00	ААБл	В траншеї	4х50	165,00	100,00	2,76
Р.ЕС–ГРЩ	85,09	100,00	АВВГ	Відкрито	4х50	101,20	10,00	0,24
ГРЩ–РП1	79,29	90,00	АВВГ	Відкрито	4х50	101,20	5,00	0,12
РП1–ЕП9	47,75	60,00	ПВ	в сталевих рукавах	3х10	60,00	6,00	0,20
РП1–ЕП13	1,01	2,00	ПВ	в сталевих рукавах	3х2,5	25,00	8,00	0,00
ГРЩ–РП2	11,70	15,00	АВВГ	Відкрито	4х4	24,84	3,00	0,12
РП2–ЕП6	3,04	4,00	ПВ	в сталевих рукавах	3х2,5	25,00	11,00	0,01
РП2–ЕП8	4,99	6,00	ПВ	в сталевих рукавах	3х2,5	25,00	9,00	0,01
ГРЩ–РП3	47,48	60,00	АВВГ	Відкрито	4х16	55,20	6,00	0,31
РП3–ЕП7	0,96	2,00	ПВ	в сталевих рукавах	3х2,5	25,00	9,00	0,00
РП3–ЕП14	45,79	60,00	ПВ	в сталевих рукавах	3х10	60,00	24,00	0,04

Продовження таблиці 2.3 – Вибір провідників мережі котельні

1	2	3	4	5	6	7	8	9
РПЗ—ЕП15	8,65	10,00	ПВ	в сталевих рукавах	3х2,5	25,00	3,00	0,01
РПЗ—ЕП16	3,10	4,00	ПВ	в сталевих рукавах	3х2,5	25,00	4,00	0,00
РПЗ—ЕП17	0,81	1,00	ПВ	в сталевих рукавах	3х2,5	25,00	3,00	0,00
ГРЩ—РП4	3,79	10,00	АВВГ	Відкрито	4х4	24,84	12,00	0,17
РП4—ЕП7	0,96	2,00	ПВ	в сталевих рукавах	3х2,5	25,00	8,00	0,00
РП4—ЕП16	3,10	4,00	ПВ	в сталевих рукавах	3х2,5	25,00	6,00	0,01
РП4—ЕП17	0,96	2,00	ПВ	в сталевих рукавах	3х2,5	25,00	5,00	0,00
РП4—ЕП18	0,82	1,00	ПВ	в сталевих рукавах	3х2,5	25,00	8,00	0,00

2.4 Розрахунок струмів КЗ і перевірка перерізу ліній та автоматичних вимикачів

З метою перевірки обраних ліній живлення та вимикачів необхідно здійснити розрахунок струмів КЗ (враховуючи, що живлення підприємства здійснюється через трансформатор 400 кВА) [9].

Розрахунок необхідний для перевірки вибраних захисних апаратів за умовою комутаційної здатності. Зокрема, у наведеному прикладі необхідно перевірити автоматичний вимикач на лінії ТП-ГРЩ.

Умова перевірки [3]:

$$I_{н.відк} \geq I_{К.мах}^{(3)}, \text{ (кА)},$$

де $I_{К.мах}^{(3)}$ – струм трифазного металічного КЗ в максимальному режимі.

Практика експлуатації показує, що доцільно виконувати перевірку термічної стійкості кабелів напругою до 1000 В. Умова термічної стійкості провідників

$$I_{K.\max}^{(3)} \sqrt{t_{\text{відк}}} < I_{K(1).\text{доп}},$$

де $I_{K(1).\text{доп}}$ – односекундний струм термічної стійкості в кабелі, кА (додаток Д);

$t_{\text{відк}}$ – час відключення КЗ (наближено приймаємо 0,1 с).

Струм трифазного металевого короткого замикання розраховується за формулою:

$$I_{K.\max}^{(3)} = \frac{1,05 U_H}{\sqrt{3} Z_\Sigma},$$

де Z_Σ – загальний повний опір елементів цехової мережі до точки КЗ.

Розраховуємо активний опір трансформатора:

$$R_T = \frac{P_K \cdot U_{\text{ном}}^2 \cdot 10^3}{S_{\text{ном}}^2}, \text{ Ом}$$

де P_K – втрати короткого замикання, кВт;

$U_{\text{ном}}$ – номінальна напруга, кВ;

$S_{\text{ном}}$ – номінальна потужність трансформатора, кВА.

$$R_T = \frac{5,5 \cdot 0,4^2 \cdot 10^3}{400^2} = 0,0055, \text{ Ом}$$

Розраховуємо реактивний опір трансформатора:

$$X_T = \frac{U_{K\%}}{100} \cdot \frac{U_{c.H}^2}{S_{H.m}}, \text{ Ом};$$

де

$$X_T = \frac{U_{K\%}}{100} \cdot \frac{U_{c.H}^2}{S_{\text{ном.т}}}; X_D = \frac{X_{D\%}}{100} \cdot \frac{U_{c.H}^2}{S_{\text{ном.д}}},$$

де $U_{с.н}$ – середня номінальна напруга точки, в якій виникає КЗ (6,3; 10,5; 37; 115; 230 кВ); $U_{с.н.л}$ – середня номінальна напруга лінії; $U_{к\%}$ - напруга короткого замикання трансформатора; $X_{\partial\%}$ - надперехідний опір ЕД; $S_{ном.т}$, $S_{ном.д}$ – номінальні потужності трансформатора та ЕД.

$$X_T = \frac{U_{к\%}}{100} \cdot \frac{U_{с.н}^2}{S_{н.т}} = \frac{4,5}{100} \cdot \frac{0,4^2}{0,4} = 0,018 \text{ Ом}$$

$$I_{кз} = \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma}} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot (\sqrt{0,0055^2 + 0,018^2})} = 12,26 \text{ кА.}$$

Переріз жил кабелів за термічною стійкістю до дії струмів КЗ [10]:

Для вимикача Tmax XT4 Екір LS/I $I_{н.відк} = 36 \text{ кА}$. Таким чином, оскільки $36 \text{ кА} > 12,26 \text{ кА}$, то умова перевірки вимикача виконується.

Перевірка кабеля ААБл 4×50.

$$I_{K.мах}^{(3)} \sqrt{t_{відк}} = 12,26 \cdot \sqrt{0,1} = 3,87 \text{ кА} > I_{K(1).дон} = 3,38 \text{ кА.}$$

В такому випадку треба збільшити переріз кабеля до 70 мм^2 , для якого $I_{K(1).дон} = 4,95 \text{ кА}$, $I_{дон} = 200 \text{ А}$.

2.5 Підвищення надійності електропостачання котельні

На рис. 2.2 наведено схему електропостачання котельні. Живлення здійснюється від ТП з трансформатором ТМ-400 по кабельній лінії ААБл 4х50 до ГРЩ.

Від ГРЩ живляться РП 3 і РП4 від яких в свою чергу живляться електроприймачі 2-ї категорії:

- Насос рециркуляції через циклон-утилізатор GHN 40-129F (7)

- Гідрофорна станція підняття тиску тип ZHF.3.05.2.3009.2 (13).

Також до ГРЩ підведена в траншеї кабельні лінія ААБл 4х50 мм², яка подає напругу від резервної дизельної електростанції Dalgakiran DJ 70 CP:

Dalgakiran DJ 70 CP — це трифазна дизельна електростанція турецького виробництва, призначена для резервного або постійного енергозабезпечення об'єктів середнього та великого масштабу (рис. 2.3). Вона оснащена потужним двигуном COOPER та синхронним альтернатором, що забезпечує стабільну та надійну роботу.

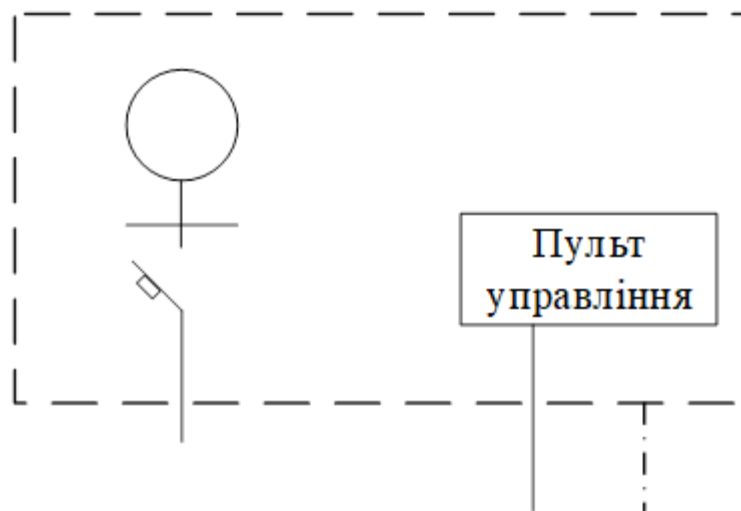


Рисунок 2.3 – Резервна дизельна електростанція Dalgakiran DJ 70 CP

На рис. 2.4 наведено однолінійну схему підстанції, від якої живиться котельня за допомогою кабелю з алюмінієвими жилами, алюмінієвою обоблонкою, броньованим, чотирьохжильним, перерізом кожної жили 50 мм². Кабель прокладено в землі. На підстанції встановлено трансформатор, ТМ-400/10, потужністю 400 кВА, а також облік спожитої котельнею електроенергії електроенергії.

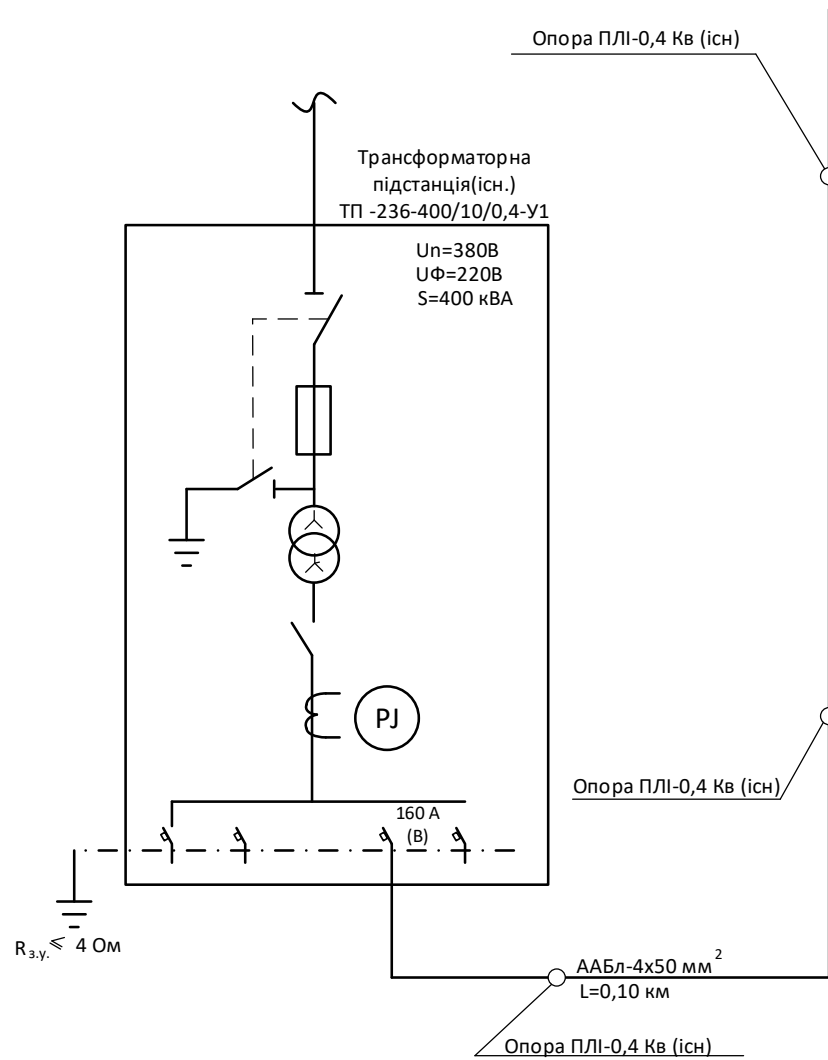


Рисунок 2.4 – однолінійна схема ТП

Перемикання живлення від ТП до резервного джерела здійснюється від системи АВР (автоматичний ввід резерву) (рис. 2.5) — елемент схеми електропостачання, який забезпечує автоматичне перемикання з основного джерела живлення на резервне у разі зникнення або погіршення параметрів напруги основної мережі. Його головна функція — забезпечення безперервного живлення споживачів.

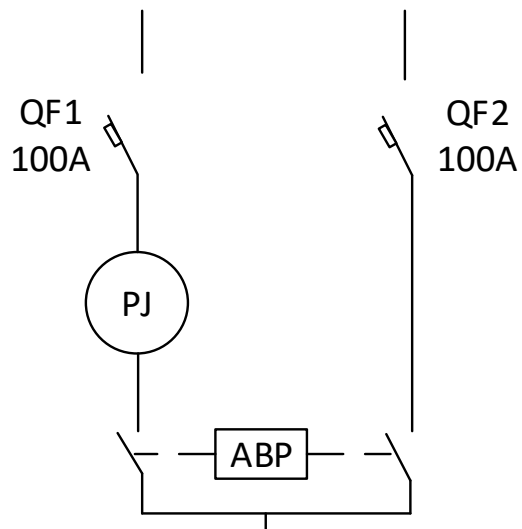


Рисунок 2.5 – схема АВР

Резервне джерело – дизельна електростанція через систему автоматичного вводу резерву подає напругу на РП1 та РП2 до яких проведені електроприймачі 1-ї категорії.

3 ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ КОТЕЛЬНІ

3.1 Вплив компенсації реактивної потужності на підвищення енергоефективності котельні

Компенсація реактивної потужності сприяє значній економії енергетичних ресурсів. Під час передачі реактивної потужності до електричного споживача у розподільчих мережах виникають додаткові втрати активної потужності, яких можна знизити, коли розгрузити мережу від переданої реактивної потужності від генераторів електричних станцій до споживачів. Це досягається шляхом виконання компенсації реактивної потужності в місцях споживання останньої.

В електроустановках промислових споживачів реактивна потужність може вироблятися із використанням синхронних двигунів, а також статичних тиристорних компенсаторів та конденсаторних батарей.

Потужність пристроїв компенсації реактивної потужності для діючих підприємств, враховуючи річне споживання реактивної і активної енергії, визначається за формулою.

$$Q_{\text{кп}} = P_{\text{ср.р.}} \cdot (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2) \quad (3.1)$$

де $P_{\text{ср.р.}}$ – середньорічна активна потужність, що споживається електроустановкою, яка визначається за формулою:

$$P_{\text{ср.р.}} = \frac{W_a}{T} \quad (3.2)$$

тут W_a – споживання активної енергії за рік;

T – кількість годин роботи електроустановки у рік (можна прийняти 2000 год. – для підприємств з однією зміною роботи, 4000 годин – для підприємств з двома змінами роботи, 6000 годин – для підприємств з трьома змінами роботи, 8000 годин – для підприємств з режимом роботи без перерви);

$\operatorname{tg} \varphi_1 = W_p / W_a$ – тангенс кута зсуву фаз, який відповідає середньозваженому протягом року коефіцієнту потужності;

тут W_p – споживання протягом року реактивної енергії;

$\operatorname{tg} \varphi_2$ – тангенс кута зсуву фаз, що відповідає коефіцієнту потужності, і який повинен бути після компенсації.

Існують три способи компенсації реактивної потужності (КРП): централізована, індивідуальна та групова. (рис. 3.1).

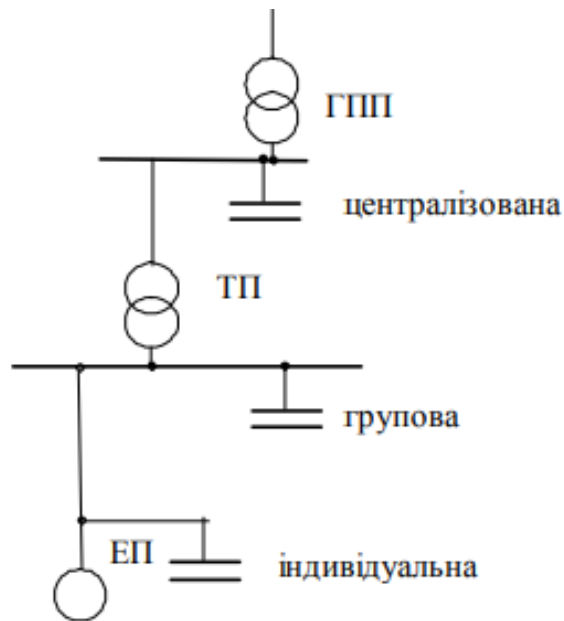


Рисунок 3.1 – Види КРП

Зазвичай централізована компенсація здійснюється за допомогою високовольтних конденсаторних батарей, що є дешевшими за низьковольтні. Однак для їх підключення потрібні високовольтні комутаційні апарати, які збільшують витрати. Регулювання при цьому є дискретним, що не призводить до повної компенсації реактивної потужності на межі балансової належності. Централізована компенсація знижує рівень навантаження на трансформатори ГПП, але передавання реактивної потужності в заводській мережі через трансформатори цехових ТП і їх живильні лінії залишається без змін. Для централізованої компенсації можуть бути використані наявні синхронні двигуни (СД) або ж статичні тиристорні компенсатори реактивної потужності (СТК).

Групова компенсація зазвичай здійснюється за допомогою низьковольтних конденсаторних батарей, що підключаються до розподільчих пристроїв трансформаторних підстанцій (ТП). Це зменшує навантаження на трансформатори цехових ТП і їх живильні лінії. Регулювання потужності КУ виконується за допомогою низьковольтних комутаційних апаратів - контакторів або ж автоматичних вимикачів. Регулювання здійснюється локально на кожній ТП, що не призводить до повної компенсації реактивної потужності для всього підприємства.

Індивідуальна компенсація забезпечує повне зниження навантаження цехових мереж за рахунок реактивної потужності з використанням нерегульованих КУ, що вмикаються одночасно з електроприймачами (ЕП). Однак коефіцієнт використання КУ при цьому невеликий. Цей тип компенсації може бути застосований лише для порівняно невеликої кількості потужних ЕП. Для потужних ЕП напругою 10(6) кВ використовуються також індивідуальні пристрої статичної та динамічної компенсації реактивної потужності.

Під час проектування ЕПС спочатку знаходять загальну розрахункову потужність низьковольтних КУ напругою до 1000 В (НКУ) відповідно до таких розрахункових етапів:

- а) розрахунок основної потужності КУ $Q_{нк1}$, що забезпечить економію завдяки зменшенню кількості цехових ТП;
- б) розрахунок додаткової потужності КУ $Q_{нк2}$, що забезпечить економію завдяки зменшенню втрат електроенергії;
- в) знаходять загальну розрахункову потужність КУ.

$$Q_{нк} = Q_{нк1} + Q_{нк2} \quad (3.3)$$

Розрахунок потужності $Q_{нк1}$ виконують у наступній послідовності. У випадку наявності трьох або ж менше трансформаторів їх потужність визначають, враховуючи розрахункове активне навантаження.

$$S_{\text{ном.т.}} = \frac{P_p}{k_3 N} \quad (3.4)$$

За вибраною потужністю трансформаторів знаходять максимальну реактивну потужність, котру можна передати через трансформатори:

$$Q_T = \sqrt{(k_3 N S_{\text{ном.т.}})^2 - P_p^2} \quad (3.5)$$

Потужність $Q_{\text{нк1}}$ визначається як різниця між розрахунковою потужністю навантаження та потужністю, яку можна передавати через трансформатори.

$$Q_{\text{нк1}} = Q_p - Q_T \quad (3.6)$$

Розрахунок додаткової потужності НКУ $Q_{\text{нк2}}$ здійснюють відповідно до критерію терміну окупності додаткових капітальних вкладень

$$T_{\text{ок}} = \frac{\Delta K}{\Delta B_{\Delta W}} \quad (3.7)$$

де ΔK – додаткові капітальні вкладення в конденсаторні батареї для додаткової групової КРП з метою зниження втрат електричної енергії;

$\Delta B_{\Delta W}$ – зменшення вартості втрат електричної енергії, які виникають при передачі реактивної енергії у разі додаткової групової КРП.

Для визначення $Q_{\text{нк}}$ обирають номінальну потужність зі стандартного асортименту потужностей НКУ. Для кожної цехової ТП обчислюється некомпенсоване значення реактивного навантаження на стороні 10 (6) кВ кожного трансформатора за формулою.

$$Q_{\text{ТП}} = Q_{\text{р.ТП}} - Q_{\text{нк}} + \Delta Q_T \quad (3.8)$$

Для кожної РП – 10 (6) кВ визначається сумарне значення некомпенсованого реактивного навантаження

$$Q_{RP} = \sum_k Q_{ТП.k} + \sum_j Q_{ад.j} \quad (3.9)$$

де $Q_{ад.j}$ – реактивна потужність j -го високовольтного АД, що живиться від даного РП.

Загальна розрахункова реактивна потужність конденсаторних установок напругою 10(6) кВ (ВКУ) для всього підприємства визначається для забезпечення рівноваги реактивної потужності.

$$Q_{ВК} = \sum Q_{ТП.k} - Q_{el}. \quad (3.10)$$

де Q_{el} – оптимальне значення вхідної реактивної потужності в години великих навантажень.

Розподіл реактивної потужності ВКУ між окремими РП визначається пропорційно їх значенню некомпенсованого реактивного навантаження. Для кожної секції РП рекомендується підключати ВКУ однакової стандартної потужності комплектних КУ, проте не менше 1000 кВар. У випадку зменшеної потужності ВКУ на РП не встановлюють, а приймають, що компенсація проводиться на рівні головних потужностей передачі.

3.2 Визначення потужності компенсаційної установки

Розрахункова схема мережі котельні з усіма вихідними даними (опорами елементів, місцями установки батарей, тощо) зображена на рис. 3.2.

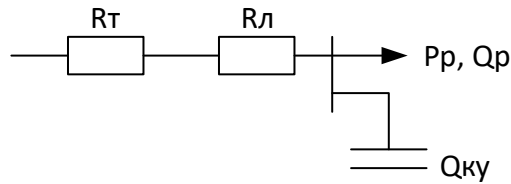


Рисунок 3.2 – Розрахункова схема мережі

Далі розрахуємо потужність КУ які доцільно приєднати на ГРЩ
 Реактивні потужності навантажень, що представлені на підприємстві:

$$Q_n = Q_p = 44,81 \text{ квар.}$$

Реактивна потужність, що задана

$$Q_c = 5 \text{ квар}$$

Визначимо сумарну потужність конденсаторних батарей

$$Q_{KY} = Q_n - Q_c = 44,81 - 5 = 39,81 \text{ квар}$$

Приймаємо, що в ГРЩ необхідно встановити конденсаторну установку, потужністю 40 кВАр.

3.3 Зниження втрат електроенергії в системі електропостачання внаслідок компенсації реактивної потужності

Втрати активної та реактивної потужностей в елементах електроенергетичної системи (ЕПС) визначаються за довідковими даними для ліній електропередач (ЛЕП) та паспортними даними для трансформаторів. Втрати поділяються на навантажувальні (змінні) та втрати неробочого ходу (постійні). Навантажувальні втрати активної потужності в робочому режимі ЛЕП визначаються наступним чином:

$$\Delta P_{\text{л}} = 3 I_M^2 R_{\text{л}} \cdot 10^{-3} \quad (3.11)$$

Спочатку визначимо опори ліній та трансформаторів

$$\begin{aligned} R_{0_{\text{л}1}} &= 0.769 \text{ Ом/км}; \\ R_{\text{л}1} &= R_{0_{\text{л}1}} \cdot L = 0.769 \cdot 0.1 = 0.0769 \text{ Ом}; \\ R_T &= 5.9 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}. \end{aligned}$$

Втрати потужності в кабельній лінії

До компенсації

$$\begin{aligned} I_{\text{л}1\text{до}} &= \frac{S_{\text{до}}}{\sqrt{3}U} = \frac{\sqrt{(P_p)^2 + (Q_p)^2}}{\sqrt{3}U} = \\ &= \frac{\sqrt{48.04^2 + 44.81^2}}{\sqrt{3} \cdot 0.38} = \frac{65.69}{\sqrt{3} \cdot 0.38} = 99.81 \text{ А}; \\ \Delta P_{\text{л,до}} &= 3 \cdot 99.81^2 \cdot 0.0769 = 2.3 \text{ кВт}. \end{aligned}$$

Після компенсації

$$\begin{aligned} I_{\text{л}1\text{піс}} &= \frac{S_{\text{піс}}}{\sqrt{3}U} = \frac{\sqrt{(P_p)^2 + Q_{e1}^2}}{\sqrt{3}U} = \\ &= \frac{\sqrt{48.04^2 + 5^2}}{\sqrt{3} \cdot 0.38} = \frac{48.3}{\sqrt{3} \cdot 0.38} = 73.4 \text{ А} \\ \Delta P_{\text{л}1\text{піс}} &= 3 \cdot 73.4^2 \cdot 0.0769 = 1.24 \text{ кВт} \end{aligned}$$

Зниження втрат електроенергії буде

$$\begin{aligned} \Delta P_{\text{л}1\%} &= \left(100 - \frac{\Delta P_{\text{л піс}}}{\Delta P_{\text{л до}}} \cdot 100\right) = \\ &= \left(100 - \frac{1.24}{2.3} \cdot 100\right) = 46.1\% \end{aligned}$$

Визначимо втрати потужності в ТП

Втрати активної потужності в трансформаторі розраховують за таким виразами

а) До КРП

$$\Delta P_{ТП1} = \Delta P_{xx1} + \Delta P_{кз} \cdot \left(\frac{S_e}{S_{нт}}\right)^2 \quad (3.12)$$

де ΔP_{xx} – потужність холостого ходу трансформатора, кВт;

$\Delta P_{кз}$ – потужність короткого замикання трансформатора, кВт;

S_e – ефективне значення повної потужності навантаження, кВ·А;

$S_{нт}$ – номінальна потужність трансформатора, кВ·А.

Для трансформатора ТМ-400/10

$$\Delta P_{xx} = 0,95 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_{кз} = 5,5 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_{ТП до} = 0,95 + 5,5 \cdot \left(\frac{65,69}{400}\right)^2 = 1,1 \text{ кВт}$$

б) Після КРП

$$\Delta P_{ТП піс} = 0,95 + 5,5 \cdot \left(\frac{48,3}{400}\right)^2 = 1,03 \text{ кВт}$$

Значення втрат електроенергії в ТП дорівнює

$$\begin{aligned} \Delta P_{ТП1\%} &= \left(100 - \frac{\Delta P_{ТП піс}}{\Delta P_{ТП до}} \cdot 100\right) = \\ &= \left(100 - \frac{1,03}{1,1} \cdot 100\right) = 6,4\% \end{aligned}$$

3.4 Зниження енергоспоживання мережних насосів внаслідок застосування частотних перетворювачів

Під час обстеження насосної установки з частотно-керованим електроприводом отримано вихідні дані:

1. Для режиму керування продуктивністю насосної установки вентилем, отримано значення потужностей, з якими працює установка за різних значень продуктивності. Результати наведено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Значення потужності насосної установки під час керування продуктивності вентилем

Q, %	100	80	60	40	20
P, %	100	100	95	80	20

2. Для режиму керування продуктивністю насосної установки шляхом регулювання швидкості обертання електродвигуна з використанням частотного перетворювача отримано значення потужностей, з якими працює установка за різних значень продуктивності. Результати записати в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Значення потужності насосної установки під час керування продуктивності шляхом зміни швидкості обертання електродвигуна з використанням частотного перетворювача

Q, %	100	80	60	40	20
P, %	100	55	35	18	10

На основі даних таблиць 3.1 та 3.2 побудовано залежності потужності насосної установки від її продуктивності за умови використання вентиля та частотного перетворювача під час регулювання продуктивності (рис. 3.3)

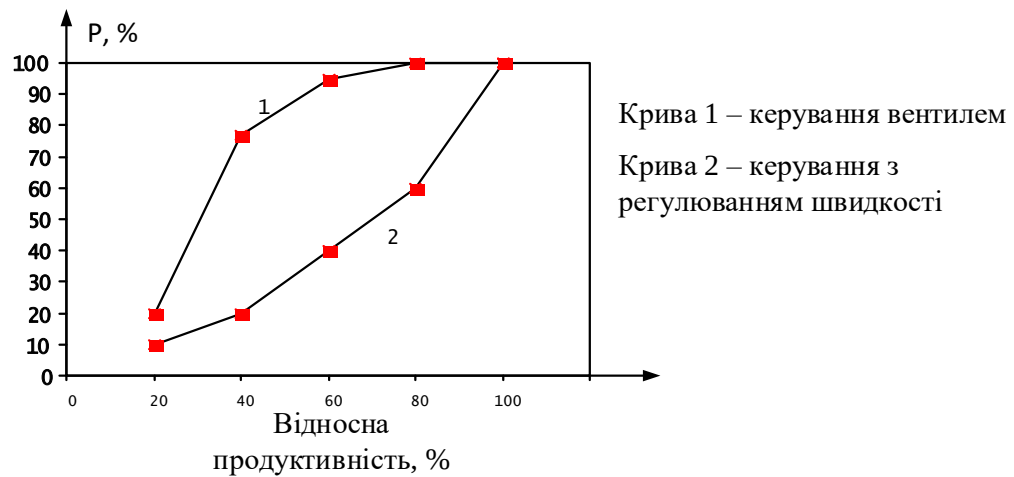


Рисунок 3.3 – Залежності потужності вентиляційної установки від її продуктивності за різних способів керування

Виходячи з даних табл. 3.3 про режим роботи насосної установки і маючи побудовану залежність потужності установки (рис. 3.3), визначимо економію електроенергії внаслідок застосування частотно-керованого електропривода порівняно з використанням вентиля для регулювання продуктивності насосної установки.

Таблиця 3.3 – Вихідні дані по варіантам

Q, %	100	80	60	40	20
Час роботи на добу, год	4	6	5	3	1

В табл. 3.4 наведено розрахунок економії електроенергії за добу в результаті застосування частотного перетворювача для живлення мережевого насоса, потужністю 22 кВт.

Таблиця 3.4 – Розрахунок економії електроенергії

Продуктивність установки, %	Час роботи, год	P_n , кВт	$P_{вент}$, кВт	$P_{чп}$, кВт	$W_{вент}$, кВт·год	$W_{чп}$, кВт·год	ΔW , кВт·год
100	4	22	100	100	22	22	0
80	6	22	100	55	22	12,1	9,9
60	5	22	95	35	20,9	7,7	13,2
40	3	22	80	18	17,6	3,96	13,64
20	1	22	20	10	4,4	2,2	2,2
						$\Delta W_{доб}$	38,94

Враховуючи, що опалювальний період складає 175 діб, то середнє значення річної економії електроенергії складає $38,94 \cdot 175 = 6814$ кВт·год.

Висновок до розділу

В даному розділі дипломної роботи визначили оптимальну потужність компенсуювальних пристроїв 0,38 кВ, яка склала 40 кВАр. Зниження втрат електроенергії в кабельній лінії від ТП до ГРЩ в результаті КРП складає в середньому 46,1 %, а в трансформаторі – в середньому 6,4%.

Обґрунтовано ефективність використання частотно-керованого електропривода мережевого насоса. Встановлено, що за умови застосування частотного перетворювача, річне значення економії електроенергії осікується близько 6800 кВт·год/рік.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

У цьому розділі бакалаврської дипломної роботи розробляються заходи з охорони праці в процесі експлуатації обладнання котельні комунального підприємства «Вінницяоблтеплоенерго». Котельня має у своєму складі велику кількість обладнання з різною виробничою потужністю, умовами експлуатації, та характером середовища, в якому встановлене дане обладнання. Аварії машин і механізмів, які використовуються в котельні, а також невиконання правил по їх безпечній експлуатації може призвести до серйозної загрози життю та здоров'ю технологічного персоналу через небезпеку професійних захворювань і травмувань під час роботи.

На оперативно-ремонтний персонал, який здійснює експлуатацію обладнання котельні, впливають такі шкідливі виробничі фактори: фізичні, хімічні та трудового процесу [1, 2].

Фізичні фактори: мікроклімат (температура, вологість, швидкість руху повітря, інфрачервоне випромінювання); виробничий шум, ультразвук, інфразвук; вібрація (локальна, загальна); освітлення: природне (недостатність), штучне (недостатня освітленість, прямий і відбитий сліпучий відблиск тощо).

Хімічні фактори: речовини хімічного походження, аерозолі переважно фіброгенної дії (сажа, пил), оксид вуглецю, феноли тощо.

Фактори трудового процесу: важкість (тяжкість) праці; напруженість праці. Важкість праці характеризується рівнем загальних енергозатрат організму або фізичним динамічним навантаженням, масою вантажу, що піднімається і переміщується, загальною кількістю стереотипних робочих рухів, величиною статичного навантаження, робочою позою, переміщенням у просторі. Напруженість праці характеризують: сенсорні, емоційні навантаження, ступінь монотонності навантажень, режим роботи.

4.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта

4.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць

Живлення обладнання котельні та системи освітлення здійснюється від чотирихпровідної трифазної мережі 380 х 220В (фазна напруга (фаза – "0") – 220В, а міжфазна лінійна (фаза – фаза) – 380В). Категорія умов по небезпеці електротравматизму є умовами з підвищеною небезпекою, тому що підлога у робочому приміщенні котельні є струмопровідною.

Для управління та обслуговування котлів, трубопроводів і допоміжного устаткування (живильних насосів, установок золовидалення тощо) роботодавець зобов'язаний призначити операторів, що мають посвідчення на право обслуговування котлів даного типу. До обслуговування котлів можуть бути допущені особи, не молодші за 18 років, які пройшли медичний огляд, навчання та атестацію в установленому порядку відповідно до Типового положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці НПАОП 0.00-4.12-05 (з0231-05) [3].

Періодичні перевірки знань мають проводитися не рідше одного разу на рік. Позачергова перевірка знань проводиться:

- при переході на інше підприємство;
- у випадку переведення на обслуговування котлів іншого типу;
- при переведенні котла на спалювання іншого виду палива;
- при перерві в роботі більше 6 місяців;
- за рішенням адміністрації або за вимогою інспектора Держнаглядохоронпраці.

Улаштування приміщень та горищних перекриттів над котлами не допускається. При встановленні котлів всередині виробничих приміщень, місце встановлення відокремлюється перегородками на всю висоту котла, але не нижче 2 м, з улаштуванням дверей. Місце розташування та напрямки відчинення дверей визначаються проектною організацією. Перегородки виконуються з незапалювальних матеріалів.

В будівлях котельної розміщуються побутові та службові приміщення для обслуговуючого персоналу відповідно до санітарних норм. Розміщення будь-яких інших приміщень, а також майстерні, які не призначені для ремонту котельного устаткування, забороняється.

На кожному поверсі приміщення котельної має бути зроблено не менше двох виходів, розміщених в протилежних боках приміщення. Допускається один вихід, якщо площа поверху є меншою 200 м та має бути другий евакуаційний вихід на зовнішні стаціонарні сходи, а в одноповерхових котельних - при довжині приміщення по фронту котлів не більше 22 м.

Виходом із приміщення котельні вважається як безпосередній вихід назовні, так і вихід через сходову клітку чи тамбур. Вихідні двері з приміщення котельної повинні відкриватися назовні від натиску руки, не мати запорів із котельної та під час роботи котлів, не замикатися. Вихідні двері з котельної в службові, побутові, а також допоміжно-виробничі приміщення повинні забезпечуватися пружинами та відкриватися в бік котельної. На кожних вхідних дверях приміщення котельної з зовнішнього боку повинен бути напис "Стороннім вхід заборонено".

Біля воріт приміщення котельної, через які проводиться подання палива і вилучення золи та шлаку, необхідно встановлювати тамбур чи повітряну теплову завісу відповідно до вимог НД.

Приміщення котельної повинні бути забезпечені достатнім природним світлом, а в нічний час – електричним освітленням. Підлягають обов'язковому обладнанню аварійним освітленням наступні місця:

- фронт котлів, а також проходи між котлами, позаду котлів та над котлами;
- щити та пульти управління;
- водовказівні та вимірювальні пристрої;
- зольні приміщення; вентиляторні площадки;
- устаткування водопідготовки; площадки та драбини котлів;
- насосні приміщення.

Робоче та аварійне освітлення, електричне устаткування і його заземлення повинні відповідати вимогам Правил улаштування електроустановок (ПУЕ). У приміщеннях котельної при висоті встановлення світильників загального освітлення над підлогою або площадками обслуговування менше 2,5 м повинні влаштовуватися світильники закритого виконання.

Ширина проходів між котлами, між котлом і стіною приміщення повинна бути не менше 2 м, ширина проходу між окремими виступаючими частинами котлів та виступаючими частинами споруди, сходами, робочими майданчиками та іншими виступаючими конструкціями – не менше 0,7 м.

Для парових котлів паропродуктивністю 2 тони/год і вище і водогрійних теплопродуктивністю 2,26 Мвт (2 Гкал/ч) і вище, працюючих на твердому паливі, подання палива в котельню і в топку котла має бути механізоване, а для котельних із загальним виходом шлаку і золи котлів у кількості 250 кг/год і більше (незалежно від продуктивності котлів) має бути механізоване вилучення шлаку і золи.

При ручному золовидаленні шлакові та зольні бункери повинні забезпечуватись пристроями для заливання золи і шлаку водою в самих бункерах чи вагонетках. В цьому випадку під бункерами обов'язково повинні бути влаштовані ізольовані камери для встановлення вагонеток. Камери повинні мати двері, які щільно закриваються, належну вентиляцію і відповідне освітлення, а двері камери мають бути із зашклюденими вічками.

Котельня повинна бути обладнана засобами пожежогасіння відповідно до норм на протипожежне устаткування і реманент, установлених Правилами пожежної безпеки в Україні ДНАОП 0.02-2.02-95.

Загальні вимоги безпеки до виробничого обладнання встановлені згідно з ГОСТ 12.2.003-74, в якому визначені вимоги до основних елементів конструкції, органів управління і засобів захисту, які входять в конструкцію виробничого обладнання любого виду і призначення.

4.1.2 Електробезпека

Електропривід насосів, вентиляторів, іншого обладнання повинний бути виконаний відповідно до Правил устрою електричних установок [4, 5].

В установках напругою до 1 кВ огороження роблять суцільними. Безпечні відстані між огороженнями і не ізолюваними струмоведучими частинами регламентується ПУЕ і в установках до 1 кВ із суцільними огороженнями - 5 см. Висота розміщення не огорожених струмоведучих частин залежить від значення напруги і рівня підготовки людей, що працюють з електроустаткуванням. Струмоведучі частини напругою до 1 кВ у місцях, де працюють люди, висота розміщення повинна бути не менше 3,5 м. Постійний контроль за ізоляцією, тому що протягом часу відбувається старіння ізоляції, що може привести до пробію і створити небезпеку при дотику людини до ізолюваних проводів. Використовують наступні кольори для маркування ізоляції: чорна – для силових ланцюгів; червона – для ланцюгів керування.

Обов'язкова установка захисного заземлення та захисного відключення. При роботі з електроустаткуванням використовують основні і додаткові електрозахисні засоби. До основних відносяться: ізолюючі штанги; ізолюючі і струмовимірювальні кліщі; слюсарно-монтажні інструменти з ізолюючим руків'ям. До додаткових відносяться: діелектричні рукавички; переносне заземлення; огорожуючі пристосування; плакати та знаки безпеки.

На ключах керування і приводах роз'єднувачів віддільників і вимикачах навантаження, а також на підставках запобіжників, за допомогою яких може бути подана напруга до місця робіт, вивішують плакат: "Не включати - працюють люди". На вентилях, що закривають доступ повітря в пневматичні приводи таких апаратів, вивішується плакат: "Не відкривати - працюють люди".

Передбачена проектом апаратура повинна експлуатуватися у відповідності з паспортними значеннями номінального струму та напруги. В процесі експлуатації слід постійно контролювати стан контактних сполучень та ізоляції апаратури, відсутність слідів дуги та оплавлення ошиновування, опір ізоляції силових та освітлювальних мереж, правильність підключення. На всіх

підготовлених місцях роботи після накладається заземлення вивішується плакат "Працювати тут".

4.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

4.2.1 Мікроклімат

Основними нормативними документами, що регламентують параметри мікроклімату виробничих приміщень, є ДСН 3.3.6.042-99 [6].

Робота з обслуговування котельного обладнання відноситься до категорії Пб по важкості праці. Допустимі норми температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень приведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Допустимі норми параметрів повітря на непостійних робочих місцях

Період року	Категорія робіт	Температура, °С	Відносна вологість	Швидкість руху, X
Холодний	Пб	13-23	75	не більше 0,4
Теплий		15-29	70 при 25 °С	0,2-0,5

Приміщення, де розміщені котли, зольні приміщення, а також всі допоміжні і побутові приміщення повинні бути обладнані природною і штучною вентиляцією, а також, при необхідності, опаленням [7]. Вентиляція котельної повинна забезпечувати видалення шкідливих газів, пилу, подачу приточного повітря і підтримку температурних умов відповідно до вимог санітарних норм. Приміщення котельної, котли і все обладнання треба тримати в справному стані і чистоті. Проходи в котельному приміщенні і виходи з нього повинні бути завжди вільними.

4.2.2 Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується граничнодопустимими концентраціями (ГДК) в мг/м³.

При завантаженні палива в топку виділяється пил нетоксичний. При роботі системи вентиляції, провітрюванні у приміщенні може попадати пил, сажа, оксиди вуглецю, бензоли та інші шкідливі речовини, які виділяються при технологічних процесах та знаходяться повітрі навколишнього середовища. Їх ГДК відповідно до [6] наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин для повітря атмосфери, в робочій зоні

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Сажа	0,15	0,05	3
Вуглецю окис	3	1	4
Бензол	1,5	0,8	2
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4

Для забезпечення складу повітря робочої зони відповідно до ГОСТу 12.1.004-91. ССБТ проектом передбачені наступні рішення [7]:

- застосування пиловідсмоктуючих агрегатів з рукавними фільтрами , які встановленні безпосередньо на ділянках біля обладнання із яких очищене повітря поступає у виробниче приміщення;
- необхідно проводити контроль за ГДК шкідливих речовин у приміщенні; застосовувати природну вентиляцію: організовану і неорганізовану.

4.2.3 Виробниче освітлення

Норми освітленості при штучному освітленні та КПО при природному та суміщеному освітленні (відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 [8], характеристика зорової роботи – дуже високої точності, розряд зорової роботи – II, підрозряд – в) зазначені у таблиці 4.3.

Для забезпечення достатнього освітлення здійснюють систематичне очищення скла та світильників від пилу (не рідше двох разів на рік), використовують жалюзі. В разі нестачі природного освітлення, використовують загальне штучне освітлення, що створюється за допомогою світлодіодних ламп E27 LED 15W NW A60 "SG". Висота підвісу світильників над робочою поверхнею 2,5 метра.

Таблиця 4.3 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

Харак-ка зорової роботи	Найменший або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Під-розряд зорової роботи	Контраст об'єкта з фоном	Характеристика фону	Штучне при системі комбінованого освітлення		Природне Ен пр	Сумісне Е сум
						всього	у т. ч. від загального		
Дуже високої точності	Від 0,15 до 0,3 включно	II	в	малий середній великий	світлий середній темний	1500	200	-	4,2

Для загального освітлення приміщень рекомендується використовувати головним чином, світлодіодні лампи, що обумовлюється наступними перевагами: високою світловою віддачею (до 75 лм/Вт і більше); довгим часом використання (до 10000 годин); малою яскравістю поверхні, що світиться; спектральним складом випромінюючого світла (для деяких видів ламп цей склад є близьким до природного світла, що забезпечує гарну передачу кольорів). Разом з тим необхідно врахувати і недоліки цих ламп: висока пульсація світлого потоку та пов'язана з цим можливість стробоскопічного ефекту; для запалювання та горіння лампи необхідно включення послідовно з ним пускорегулюючих апаратів; працездатність ламп залежить від температури оточуючого середовища, до кінця часу роботи світловий потік зменшується більш ніж на половину від номінального.

4.2.4 Виробничий шум

На підприємстві джерелом шуму є обладнання, машини, механізми та верстати – механічний шум. За характером спектру шум – широкосмуговий з безперервний спектром шириною більше октави; за тональною характеристикою постійний; за походженням – гідродинамічний. При санітарно-гігієнічному нормуванні шуму використовують два методи [9]: нормування за гранично допустимим спектром шуму; нормування рівня звуку за шкалою А шумоміра.

Допустимі рівні звукового тиску, рівні звуку і еквівалентні рівні звуку на робочих місцях приймаються за вимогами [9] та наведені в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Допустимі рівні звукового тиску

Робоче місце	Рівні звукового тиску в октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц								
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
На постійних робочих місцях у виробничих приміщеннях та на території підприємства	107	95	87	82	78	75	73	71	69

Для зменшення рівня шуму до допустимого в цеху двигуни виконуються в металевому кожусі, а також виконують змащення, застосовують пластмасові деталі, використовують протишумні навушники, які закривають вушну раковину.

4.2.5 Виробничі вібрації

- Вібрацією називають механічні коливання пружних тіл або систем, коли відбувається переміщення центра їх ваги в просторі відносно статичного стану. Загальна вібрація передається на тіло через опорні

поверхні людини, що стоїть чи сидить (підшви ніг або сідниці) [10].

Норми вібрації наведені в таблиці 6.5.

4. Основними методами колективного віброзахисту є зниження вібрації шляхом дії на джерело виникнення: відстрочка від режиму резонанс; динамічне гасіння коливань, заміна конструктивних елементів уставок і будівельних конструкцій. Засоби індивідуального захисту діляться на засоби для ніг, рук та тіла працюючого.

5. Таблиця 4.5 – Допустимі рівні вібрації на постійних місцях

Вид вібрації	Октавні смуги з середньгеометричними частотами, Гц									
	2	4	8	16	31,5	63	125	250	500	1000
Загальна вібрація:	<u>1,3</u> 108	<u>0,45</u> 99	<u>0,22</u> 93	<u>0,2</u> 92	<u>0,2</u> 92	<u>0,2</u> 92	-	-	-	-
На постійних робочих місцях в виробничих приміщеннях										

6. В чисельнику середньоквадратичне значення вібрації, м/с 10^{-2} , знаменнику – логарифмічні рівні вібрації, дБ.

4.3 Пожежна безпека

Пожежну безпеку промислових і інших об'єктів регламентують Правила пожежної безпеки в Україні [11, 12]. Пожежо- вибухонебезпечність речовин і матеріалів визначається за ДСТУ 8829: 2019 [13], за якою визначається категорія приміщень за вибуховою та пожежною безпекою [14].

Пожежо- вибухонебезпечність речовин і матеріалів – сукупність властивостей, що характеризують їхню здатність до виникнення і поширення горіння. Наслідком горіння, залежно від його швидкості та умов протікання, можуть бути пожежа або вибух. Пожежо- вибухонебезпечність речовин і матеріалів визначають показниками, вибір яких залежить від агрегатного стану речовини (матеріалу), та умов їхнього застосування.

Отже, обладнання котельні комунального підприємства «Вінницяоблтеплоенерго» розташоване в приміщеннях підприємства, які за вибухонебезпекою та пожежонебезпекою відносяться до категорії Г (помірнопожежонебезпечна) –негорючі речовини і/або матеріали у гарячому, розпеченому і/або розплавленому стані, процес обробки яких супроводжується виділенням променистого тепла, утворенням іскор і/або полум'я; горючі газы, рідини і/або тверді речовини, що спалюються або утилізуються як паливо

Будівля, в якій розташовані ці приміщення, характеризується II ступенем вогнестійкості.

До II ступеня вогнестійкості відносяться будинки з несучими та огорожувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону із застосуванням листових і плитних негорючих матеріалів. Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвилинах) та максимальні межі поширення вогню по них (см) за ДБН В.1.1.7-2016 [15] наведено в таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій та максимальні межі поширення вогню по них

Ступінь вогнестійкості будинків	Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвилинах) і максимальні межі поширення вогню по них (см)								
	стіни				коло-ни	сходові площадки, костури, сходи, балки, марші сходових кліток	пере-криття між поверхові (у т.ч. горищні та над підвалами)	елементи суміщених покриттів	
	несучі та сходових кліток	само-несучі	зовнішні не-несучі	внутрішні не-несучі (перегородки)				плити, настили, прого-ни	балки, ферми, арки, рами
II	REI 120 M0	REI 60 M0	E 15 M0	E1 15 M0	R 120 M0	R 60 M0	REI 45 M0	RE 15 M0	R 30 M0

Протипожежні перешкоди і мінімальні межі їх вогнестійкості за ДБН В.1.1.7-2016 [15] наведено в таблиці 4.7.

Протипожежні відстані між житловими, громадськими, адміністративно-побутовими будинками промислових підприємств, гаражами слід приймати за

таблицею 6.8 (чисельник). В умовах забудови, що склалася, протипожежні відстані між житловими будинками та від житлових будинків до будівель і споруд іншого призначення слід визначати згідно з протипожежними вимогами даних норм, наведеними у таблиці 4.8. Протипожежні відстані від житлових, громадських, адміністративно-побутових будинків промислових підприємств, гаражів до виробничих, складських будинків і споруд слід приймати за таблицею 6.8 (знаменник) [15].

Таблиця 4.7 – Протипожежні перешкоди та мінімальні межі їх вогнестійкості

Протипожежні перешкоди	Типи протипожежних перешкод або їх елементів	Мінімальна межа вогнестійкості протипожежної перешкоди (у хвиликах)	Тип заповнення прорізів, не нижче	Тип протипожежного тамбур-шлюзу, не нижче
Стіни	3	REI 45	2	2
Перегородки	2	EI 15	3	2
Перекриття	3	REI 45	2	1

Таблиця 4.8 – Протипожежні відстані між житловими, громадськими, адміністративно-побутовими будинками промислових підприємств, гаражами, а також до виробничих будинків, будівель і споруд

Ступінь вогнестійкості будинку	Відстані при ступені вогнестійкості будинків, м		
	I, II	III	IIIa, IIIб, IV, IVa, V
I, II	6/9	8/9	10/12

На території комунального підприємства «Вінницяоблтеплоенерго», де розташована котельня, встановлено 38 порошкових вогнегасників ВВП-8 (ВП-5) і 12 газових вогнегасників ВВК-7 [16].

ВИСНОВКИ

Здійснено розрахунки електропостачання котельні, вибрано комутаційно-захисну апаратуру та провідники електричної мережі.

Запропоновано заходи з підвищення енергоефективності підприємства: використання компенсації реактивної потужності та живлення електропривода мережного насосу від частотного перетворювача.

Визначено оптимальну потужність компенсувальних пристроїв 0,38 кВ, яка склала 40 кВАр. Зниження втрат електроенергії в кабельній лінії від ТП до ГРЩ в результаті КРП складає в середньому 46,1 %, а в трансформаторі – в середньому 6,4%.

Обґрунтовано ефективність використання частотно-керованого електропривода мережевого насоса. Встановлено, що за умови застосування частотного перетворювача, річне значення економії електроенергії осікується близько 6800 кВт·год/рік.

Розроблені заходи з охорони праці на підприємстві. Вирішені питання з безпечної експлуатації об'єкту та гігієни праці і виробничої санітарії, виконані дії з пожежної безпеки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Маліновський А.А., Хохулін Б.К. Основи електроенергетики та електропостачання. Підручник. Львів : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2007. 380 с.
2. Правила улаштування електроустановок. Київ : Міненерговугілля України, 2017. 617 с.
3. Бурбело М. Й. Проектування систем електропостачання. Приклади розрахунків : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Вінниця : ВНТУ, 2005. 148 с.
4. Зниження втрат електроенергії в системах електропостачання котелень. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-feeem/all-feeem-2025/schedConf/presentations> (дата звернення: 09.06.2025).
5. ДСНіП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014.
6. ДСТУ-Н Б А 3.2-1: 2007 Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використання в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва. URL: <https://profidom.com.ua/a-3/a-3-2/824-dstu-n-b-a-3-2-12007-nastanova-shhodo-viznachenna-nebezpechnih-i-shkidlivih-faktoriv->.
7. НПАОП 40.1-1.32-01 (ДНАОП 0.00-1.32-01) Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок (Правила устройства электроустановок. Электрооборудование специальных установок). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01#Text>.
8. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885.
9. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. URL: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>.

10. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99>.
11. ДБН А.3.2-2-2009. ССБП. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення. URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/dbn_a322_2009/1-1-0-945.
12. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с.
13. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>.
14. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. К. : Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с.
15. НАПБ А.01.001-14. Правила пожежної безпеки в Україні. К. : МВС України, 2014. 47 с.
16. ДСТУ 8828:2019 Пожежна безпека. Загальні положення. URL: <https://dwg.ru/dnl/15125>.
17. ДСТУ 8829:2019 Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів. Номенклатура показників і методи їхнього визначення. Класифікація. URL: <https://www.alutal.com.ua/wp-content/uploads/2021/02/dstu-8829-2019-1.pdf>.
18. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпек. URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_1_1_36/5-1-0-1759.
19. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. URL: http://www.poliplast.ua/doc/dbn_v.1.1-7-2002.pdf.
20. Наказ Міністерства внутрішніх справ України «Про затвердження Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0225-18#Text>.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

ВИХІДНІ ДАНІ

Підвищення енергоефективності котельні комунального підприємства
"Вінницяоблтеплоенерго". Електрична частина

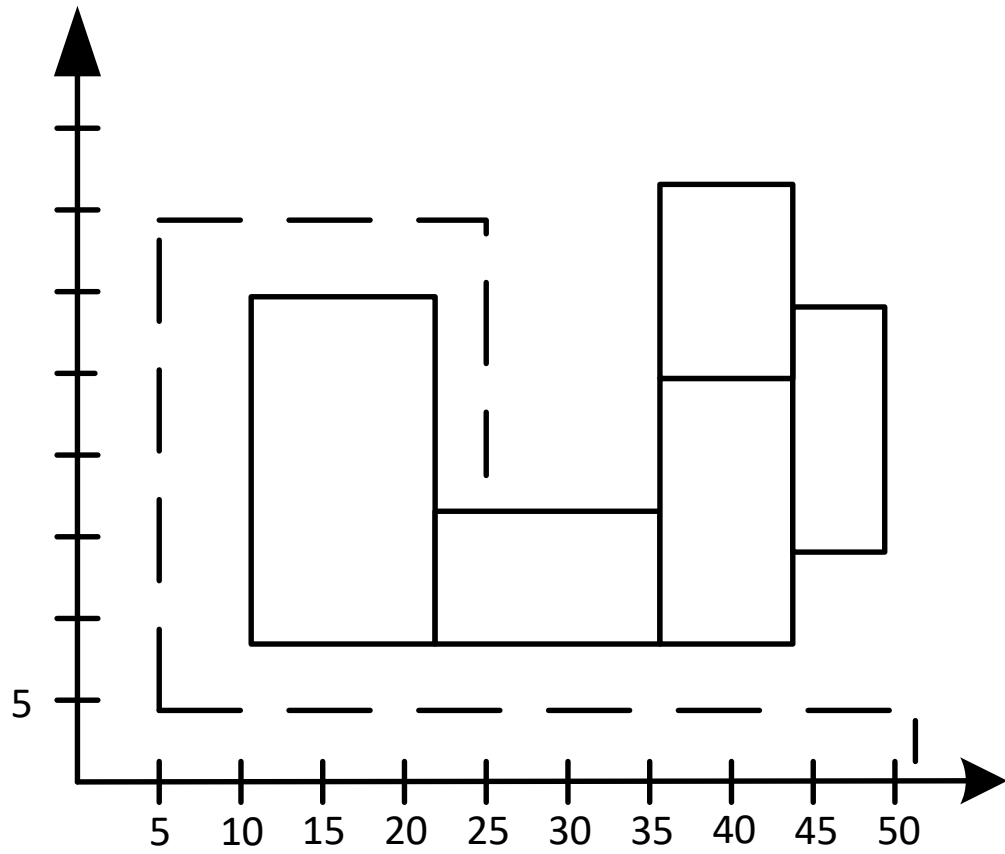


Рисунок А.1 – Генплан підприємства

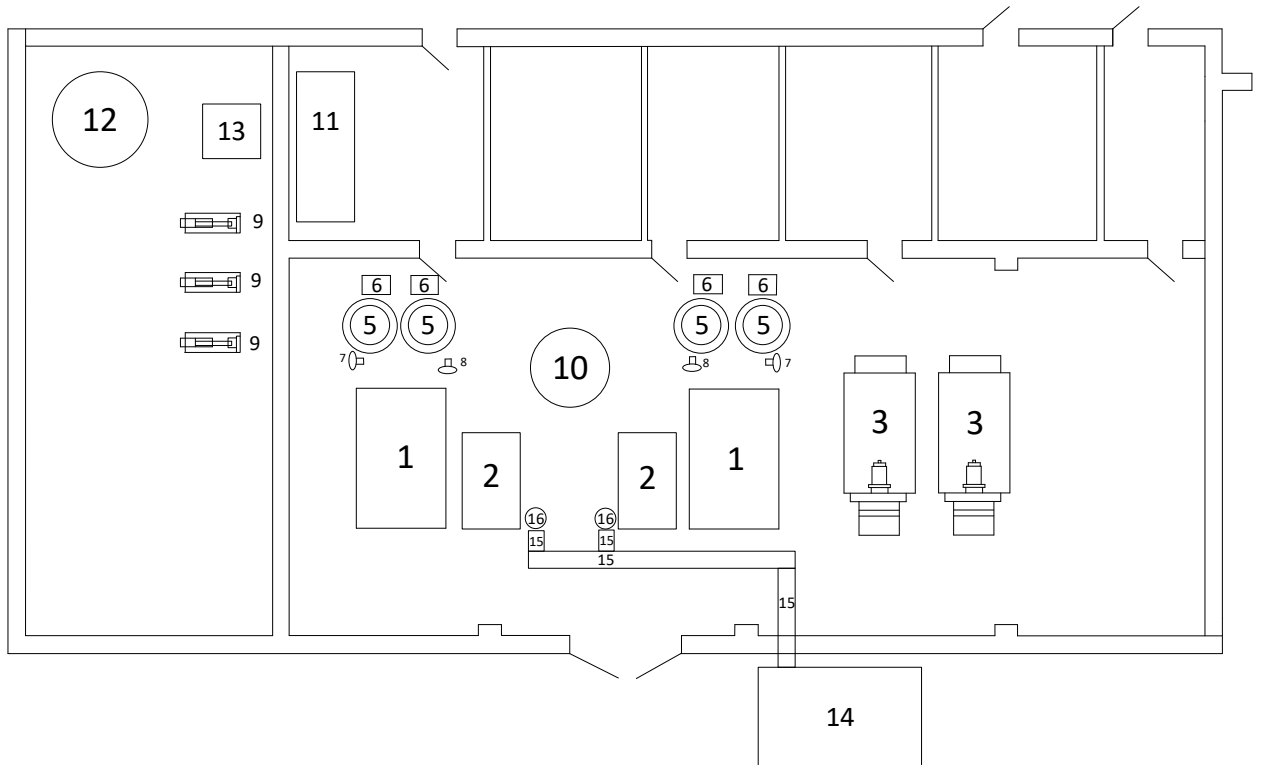


Рисунок А.2 – План розташування обладнання котельні

Таблиця А.2 – Відомості про електричні навантаження котельні

	Споживачі	Потужність
1	Котел твердопаливний BRS 2500 LM	
2	Бункер щеповий 3м ³	
3	Котел газовий ARS 2000 BMT	
5	Циклон-утилізатор МЦ-У-1500	
6	Димосос Д 3,5М	1.5 кВт
7	Насос рециркуляції через циклон-утилізатор GHN 40-129F	0.57 кВт
8	Насос котловий GHN 100-120F	2.3 кВт
9	Насос мережний Hydrovacuum MVA 65-200A 1100	2.2 кВт
10	Акумуляційна ємність 5 м ³	
11	Станція хімводоочищення	
12	Бак зберігання хімоочищеної води 5 м ³	
13	Гідрофорна станція підняття тиску тип ZHF.3.05.2.3009.2	0.5 кВт
14	Живе дно	30 кВт
15	Конвеєр	5 кВт
16	Ворошитель	2 кВт
17	Вентилятор	0,5 кВт
18	Циркуляційний насос системи гарячого водопостачання	0,5 кВт

ДОДАТОК Б

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Підвищення енергоефективності котельні комунального підприємства "Вінницяоблтеплоенерго". Електрична частина

Тип роботи: бакалаврська кваліфікаційна робота

(бакалаврська кваліфікаційна робота / магістерська кваліфікаційна робота)

Підрозділ Кафедра ЕСЕМ, ФЕЕМ, ЕЕ-216

(кафедра, факультет, навчальна група)

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism 27.79 %

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

☒ Запозичення, виявлені у роботі, є законними і не містять ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту

☐ У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.

☐ У роботі виявлено ознаки плагіату та/або текстових маніпуляцій як спроб укриття плагіату, фабрикації, фальсифікації, що суперечить вимогам законодавства та нормам академічної доброчесності. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

Бурбело М. Й., завідувач кафедри ЕСЕМ

(прізвище, ініціали, посада)

(підпис)

Бабенко О. В., доцент кафедри ЕСЕМ

(прізвище, ініціали, посада)

(підпис)

Особа, відповідальна за перевірку _____

(підпис)

Лобода Ю. В.

(прізвище, ініціали)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник _____

(підпис)

Бабенко О. В.

(прізвище, ініціали, посада)

Здобувач _____

(підпис)

Степанюк І. С.

(прізвище, ініціали)



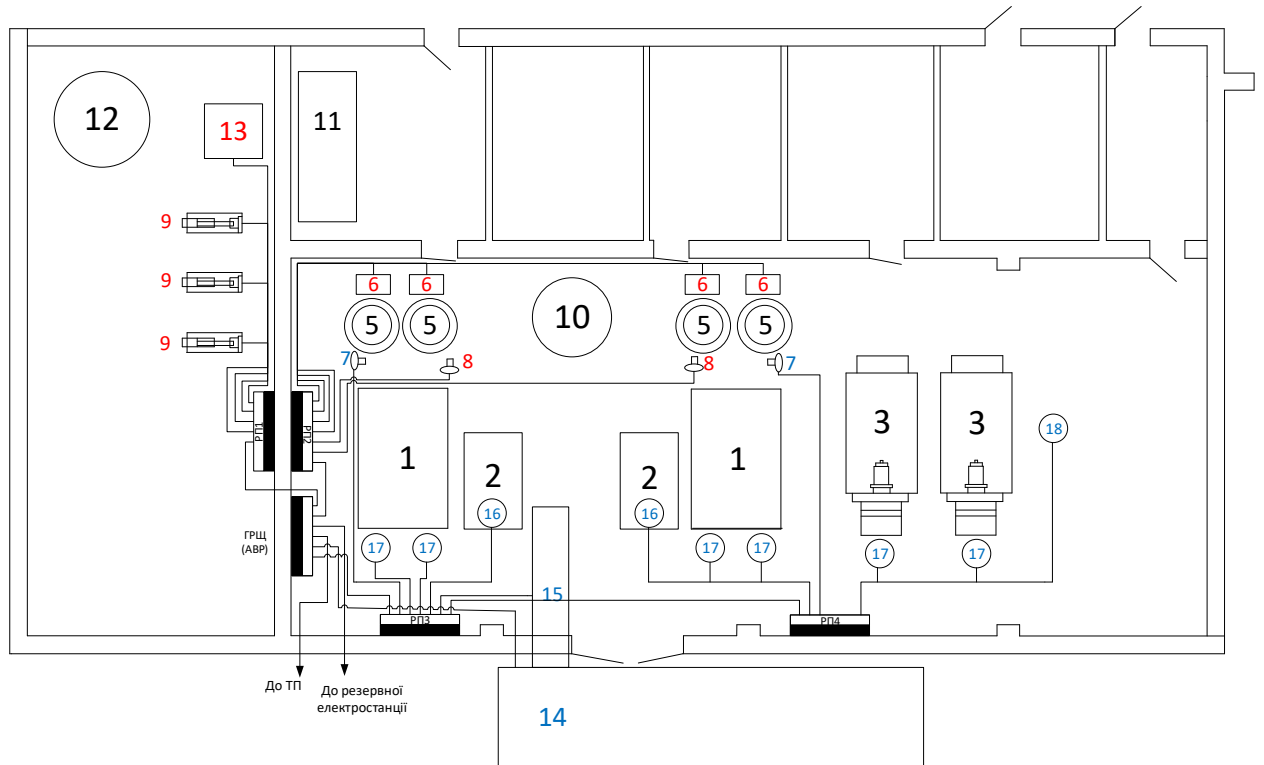


Рисунок В.2 - План електропостачання котельні

ДОДАТОК Г

Заходи з підвищення енергоефективності котельні

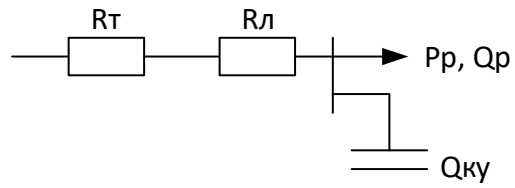


Рисунок Г.1 – Розрахункова схема мережі

Зниження втрат електроенергії в кабельній лінії

$$\Delta P_{л1\%} = (100 - \frac{\Delta P_{л \text{ піс}}}{\Delta P_{л \text{ до}}} \cdot 100) = 46,1\%$$

Зниження втрат електроенергії в ТП

$$\Delta P_{ТП1\%} = (100 - \frac{\Delta P_{ТП1 \text{ піс}}}{\Delta P_{ТП1 \text{ до}}} \cdot 100) = 6,4\%$$

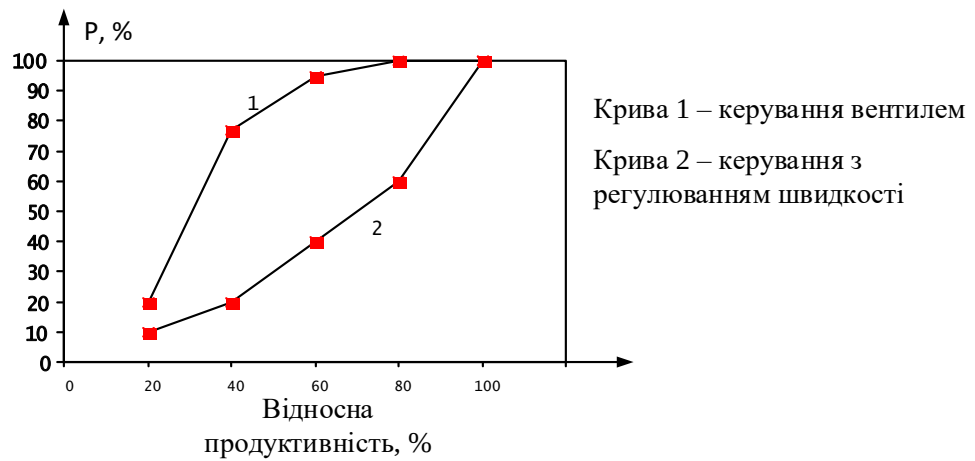


Рисунок Г.2 – Залежності потужності вентиляційної установки від її продуктивності за різних способів керування

Таблиця Г.1 – Розрахунок економії електроенергії насосної установки

Продуктивність установки, %	Час роботи, год	P_n , кВт	$P_{\text{вент}}$, кВт	$P_{\text{чп}}$, кВт	$W_{\text{вент}}$, кВт·год	$W_{\text{чп}}$, кВт·год	ΔW , кВт·год
100	4	22	100	100	22	22	0
80	6	22	100	55	22	12,1	9,9
60	5	22	95	35	20,9	7,7	13,2
40	3	22	80	18	17,6	3,96	13,64
20	1	22	20	10	4,4	2,2	2,2
						$\Delta W_{\text{доб}}$	38,94