

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра енергетики та електротехнічних систем

До захисту
Допускається
Завідувач кафедри

Чепіжний А. В.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за бакалаврським рівнем вищої освіти

На тему: «Реконструкція системи електропостачання котельної по вул. Г. Кондратьєва ТОВ «Сумитеплоенерго» м. Суми з розробкою системи аварійного забезпечення електричної енергії».

Виконав:

_____ (підпис)

Коротун О.В.
(Прізвище, ініціали)

Група:

ГЕЕ 2201ст.

(Науковий) керівник:

_____ (підпис)

Чепіжний А.В.
(Прізвище, ініціали)

Суми – 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерно-технологічний

Кафедра енергетики та електротехнічних систем

Ступінь вищої освіти «Бакалавр»

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

енергетики та електротехнічних систем

_____ **Чепіжний А.В.**

«__» _____ 202__ року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Коротун Олег Віталійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Реконструкція системи електропостачання котельної по вул. Г. Кондратьєва ТОВ «Сумитеплоенерго» м. Суми з розробкою системи аварійного забезпечення електричної енергії,

керівник роботи: Чепіжний Андрій Володимирович, к.т.н., доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «09» грудня 2024 року № 4057/ос.

2. Строк подання здобувачем роботи: «15» травня 2025 року.

3. Вихідні дані до роботи: нормативні документи, технічні паспорти та технічна характеристика обладнання.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

Вступ. Виробничо-господарська характеристика об'єкту проектування. Розрахунок і вибір силового електрообладнання. Розробка системи аварійного забезпечення електричної енергії. Проектування електропостачання об'єкту. Охорона праці. Екологічна експертиза. Економічне обґрунтування проєкту. Висновок. Список використаної літератури.

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:

Котельня. Силова мережа. Схема електрична розташування. Шафа керування котельною. Схема електрична принципова. Щит вентиляції. Принципова електрична схема. Avis 800с. Схема принципова.

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Семерня О.В., ст. викладач		
Економічне обґрунтування	Шашков С.В., к.е.н., ст. викладач		
Нормоконтроль	Чепіжний А.В., к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання: «04» вересня 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Погоджено з керівником кваліфікаційної роботи
1.	Збір інформації про діяльність господарстві	6.09.2024 р.	
2.	Аналіз літературних джерел з обраної тематики та	до 13.09.2024 р.	
3.	Складання плану роботи	до 27.09.2024 р.	
4.	Написання вступу	до 04.10.2024 р.	
5.	Підготовка розділу «Розділ 1. Характеристика об'єкту проектування»	до 18.10.2024 р.	
6.	Підготовка розділу «Розділ 2. Розрахунок і вибір силового обладнання»	до 01.11.2024 р.	
7.	Підготовка розділу «Розділ 3. Розрахунок системи аварійного забезпечення електричної енергії»	до 15.11.2024 р.	
8.	Підготовка розділу «Розділ 4. Проектування електропостачання об'єкту»	до 20.12.2024 р.	
9.	Підготовка розділу «Розділ 5. Охорона праці»	до 24.01.2025 р.	
10.	Підготовка розділу «Розділ 6. Екологічна експертиза»	до 21.02.2025 р.	
11.	Підготовка розділу 7. Економічне обґрунтування»	до 14.03.2025 р.	
12.	Написання висновків та пропозицій	до 25.04.2025 р.	
13.	Подання роботи на перевірку унікальності до експертної ради факультету	до 15.05.2025 р.	
14.	Подання роботи на рецензування	до 23.05.2025 р.	
15.	Подання до попереднього захисту	до 27.05.2025 р.	

Здобувач вищої освіти

_____ (підпис)

Коротун О.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

_____ (підпис)

Чепіжний А.В.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Коротун О.В. Реконструкція системи електропостачання котельної по вул. Г.Кондратьєва ТОВ «СУМИТЕПЛОЕНЕРГО» м. Суми з розробкою системи аварійного забезпечення електричної енергії. Суми : СНАУ, 2025 р.

Кваліфікаційна робота зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», освітньо-професійної програми «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

У роботі розглянуто реконструкцію системи електропостачання котельні ТОВ «СУМИТЕПЛОЕНЕРГО» по вул. Г. Кондратьєва в місті Суми з метою підвищення надійності, енергоефективності та автономності її роботи. Основна увага приділена впровадженню когенераційної установки Avus 800с, яка забезпечує виробництво електричної та теплової енергії одночасно, що дозволяє скоротити споживання ресурсів і зменшити залежність від централізованих енергетичних систем.

У роботі проведено аналіз існуючого стану котельні, розрахунок електричних навантажень, вибір трансформаторного обладнання, підбір насосного та вентиляційного обладнання. Також розроблено систему аварійного електропостачання, систему вентиляції, заходи з охорони праці та оцінку екологічного впливу. Економічне обґрунтування показало високу рентабельність проєкту та термін окупності менше одного року.

Ключові слова: котельня, котел, когенераційна установка, мікроклімат, насос, повітряна лінія, електропостачання, установка освітлювальна.

SUMMARY

Korotun O.V. Reconstruction of the power supply system of the boiler house on G. Kondratieva St. LLC «SUMYTEPLOENERGO» in Sumy with the development of an emergency power supply system. Sumy: SNAU, 2025.

Qualification work in specialty 141 «Electrical power engineering, electrical engineering and electromechanics», educational and professional program «Electrical power engineering, electrical engineering and electromechanics».

The work considers the reconstruction of the power supply system of the boiler house of LLC «SUMYTEPLOENERGO» on G. Kondratieva St. in the city of Sumy in order to increase the reliability, energy efficiency and autonomy of its operation. The main attention is paid to the implementation of the Avus 800c cogeneration unit, which provides the production of electric and thermal energy simultaneously, which allows to reduce resource consumption and reduce dependence on centralized energy systems.

The work includes an analysis of the existing state of the boiler room, calculation of electrical loads, selection of transformer equipment, selection of pumping and ventilation equipment. An emergency power supply system, ventilation system, occupational safety measures and environmental impact assessment were also developed. The economic justification showed high profitability of the project and a payback period of less than one year.

Keywords: boiler room, boiler, heating installation, microclimate, pump, overhead line, power supply, lighting installation.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 ВИРОБНИЧО-ГОСПОДАРСЬКА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ПРОЕКТУВАННЯ.....	9
2 РОЗРАХУНОК І ВИБІР СИЛОВОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ.....	2
2.1 Забезпечення мікроклімату – опалення та вентиляція.....	2
2.2 Обґрунтування вибору насосного обладнання.....	13
3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВАРІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ.....	17
3.1 Основи когенераційних установок.....	17
3.2 Характеристика роботи когенераційної установки Avus 800с.....	18
4 ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ОБ'ЄКТУ.....	23
4.1 Розрахунок електричних навантажень.....	24
4.2 Вибір проводів повітряної лінії напругою 380/220 В.....	27
4.3 Вибір потужності силового трансформатора.....	28
5 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	29
6 ЕКОЛОГІЧНА ЕКСПЕРТИЗА.....	33
6.1 Аналіз джерел впливу на довкілля.....	33
6.2 Енергоефективність і скорочення викидів.....	35
6.3 Заходи з охорони навколишнього середовища.....	35
7 ЕКОНОМІЧНЕ ОБґРУНТУВАННЯ ПРОЄКТУ.....	36
ВИСНОВОК.....	39
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	41

ВСТУП

З огляду на сучасні тенденції розвитку глобальної економіки, ключовим аспектом постає підвищення енергоефективності. В умовах стрімкого зростання цін на природний газ та складної ситуації з його постачанням у Європі під час опалювального сезону 2023-2025 років, питання раціонального використання природного газу набуває особливої актуальності.

В Україні, на тлі військової агресії з боку російської федерації, дефіцит цього виду палива відчувається особливо гостро. Враховуючи незадовільний стан теплового господарства країни, що характеризується значною кількістю застарілих котлів з низьким ККД, зношеними тепловими мережами з недостатньою теплоізоляцією, які спричиняють значні втрати теплової енергії через пориви та розсіювання в навколишнє середовище, а також застарілим насосним обладнанням, що унеможлиблює кількісне регулювання теплової енергії, стає очевидним, що вся ця застаріла інфраструктура є ненадійною, потребує частих ремонтів і призводить до додаткових втрат теплової енергії. Крім того, значні обсяги теплової енергії неефективно використовуються кінцевими споживачами через відсутність переважно погодо-залежного регулювання внутрішньо-будинкових систем опалення.

На балансі ТОВ «СУМИТЕПЛОЕНЕРГО» перебуває значна кількість котелень, введених в дію у 1970-1980 роках, обладнання яких функціонує вже протягом 40-50 років. Як об'єкт дослідження обрано квартальну котельню, розташовану за адресою: м. Суми, вул. Герасима Кондратьєва, обладнану двома котлами типу НІИСТУ-5. Ця котельня забезпечує тепловою енергією потреби житлових будівель та об'єктів соціальної інфраструктури, включаючи школи та дитячий садок, для опалення, вентиляції та гарячого водопостачання.

Враховуючи поточну ситуацію на енергетичному ринку України, було прийнято рішення про додаткове встановлення на території котельні когенераційної установки, що працюватиме на природному газі. Ця установка забезпечить виробництво достатньої кількості електричної енергії для власних

потреб котельні, а також можливість продажу надлишкової електроенергії до об'єднаної енергетичної системи України. Крім того, додаткове виробництво теплової енергії може частково покрити потреби споживачів у опаленні та гарячому водопостачанні.

1 ВИРОБНИЧО-ГОСПОДАРСЬКА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ПРОЕКТУВАННЯ

Загальні відомості про котельню. Котельня, розташована за адресою: м. Суми, вул. Герасима Кондратьєва, що є частиною орендованого цілісного майнового комплексу, використовуваного ТОВ «СУМИТЕПЛОЕНЕРГО», була введена в експлуатацію в 1973 році. Її першочерговим призначенням було забезпечення тепlopостачання для опалення та гарячого водopостачання загальноосвітньої школи, дитячого садка, гуртожитку та багатоквартирних будинків, безпосередньо підключених до магістральної теплової мережі. На котельні встановлено два водогрійні котли типу НІИСТУ-5,0, кожен потужністю 0,8 МВт, що використовують природний газ як основне паливо.

Існуюча система хімічної підготовки води функціонує за схемою двоступеневого натрій-катіонітового пом'якшення.

Будівля котельні обладнана всіма необхідними інженерними комунікаціями, включаючи водopровід, каналізацію, електропостачання та газopостачання. Електроживлення котельні здійснюється від наявних ввідних розподільних щитів.

Водopостачання забезпечується від трьох існуючих вводів водopровідних мереж діаметром 100 мм. На кожному ввіді встановлено вузли обліку води з водомірами. Джерелом газopостачання котельні є діючий газopровід низького тиску діаметром DN133 мм.

Облік спожитого газу здійснюється за допомогою існуючого облікового вузла, оснащеного обчислювачем об'ємної витрати та витрати газу ОЕ-22 ЛА виробництва компанії «Ізодром» (м. Київ).

Відведення продуктів згоряння (димових газів) відбувається через систему газоходів у цегляну димову трубу заввишки 30 м і діаметром – 500 мм.

2 РОЗРАХУНОК І ВИБІР СИЛОВОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ

2.1 Забезпечення мікроклімату – опалення та вентиляція

Проектні рішення щодо створення регламентованих параметрів повітряного середовища в межах котельні розроблялися, спираючись на технічне завдання, об'ємно-просторову концепцію об'єкта, а також беручи до уваги вимоги діючих будівельних стандартів, правил і низки інших нормативних документів.

Для розрахунку систем теплопостачання та повітрообміну були прийняті наступні температурні показники навколишнього середовища:

- для зимового періоду – мінус 22 градуси за Цельсієм;
- для міжсезоння – плюс 8 градусів за Цельсієм;
- для літнього періоду – плюс 25,6 градусів за Цельсієм.

Температура всередині головного виробничого приміщення котельні була встановлена на рівні плюс 12 градусів за Цельсієм, що відповідає категорії інтенсивності виконуваних робіт.

Функціонування котельні передбачає постійну присутність кваліфікованого персоналу.

Комплекс систем опалення та вентиляції включає:

- припливно-рециркуляційну установку;
- витяжну систему повітрообміну.

Теплопостачання приміщення котельні забезпечується за рахунок виділення теплової енергії функціонуючим обладнанням, тоді як обігрів службових приміщень здійснюється за допомогою електричних конвекторів.

Повітрообмін у машинному залі котельні реалізовано за змішаним принципом – природним та примусовим, з метою ефективного поглинання надлишкового тепла та забезпечення необхідної циркуляції повітря.

З метою попереднього нагрівання повітря всередині котельні до позначки в плюс 10 градусів за Цельсієм перед початком роботи обладнання, а також для

здійснення вентиляції з подачею зовнішнього повітря, передбачена припливно-рециркуляційна система обробки повітря.

Припливно-рециркуляційна установка складається з таких компонентів:

- електричних повітрянагрівачів типу СФОО;
- всмоктувального каналу з можливістю забору повітря як з вулиці, так і з внутрішнього простору;
- нагнітального повітроводу;
- осьових вентиляторів для подачі повітря;
- витяжних вентиляторів та регульованих жалюзійних решіток для видалення повітря;
- дефлекторів з діаметром вихідного отвору 300 мм.

У холодну пору року, коли виникає потреба у підвищенні температури в котельні до плюс 10 градусів за Цельсієм, відбувається перекриття заслінки зовнішнього повітрязабору та відкриття заслінки внутрішнього повітрязабору, після чого активуються електричні калорифери.

Після досягнення необхідної температури повітря для безпечного запуску котельного обладнання, заслінка зовнішнього повітрязабору відкривається, а внутрішня – закривається. Регулювання ступеня відкриття обох заслінок здійснюється таким чином, щоб підтримувати стабільну температуру повітря в котельні на рівні плюс 10 градусів за Цельсієм та забезпечувати оптимальну кратність обміну повітря.

Розрахунок і підбір нагрівачів повітря для системи припливно-витяжної вентиляції з рециркуляцією.

Теоретично необхідний об'єм повітря для повного окиснення палива за коефіцієнта надлишку повітря $\alpha = 1,0$ становить:

$$V_0 = 7,19 \text{ нм}^3 / \text{кг}$$

Фактична витрата повітря при коефіцієнті надлишку повітря $\alpha = 1,47$ визначається як:

$$V = V_0 \cdot \alpha \quad (2.1)$$

$$V = 7,19 \cdot 1,47 = 10,57 \text{ нм}^3/\text{кг}$$

Витрата палива одним котлом при номінальному тепловому навантаженні складає:

$$B_p = 147 \text{ кг/год}$$

Отже, об'єм повітря, необхідний для забезпечення процесу горіння одного котла при номінальному навантаженні, дорівнює:

$$G_{\text{в.котла}} = V \cdot B_p \quad (2.2)$$

$$G_{\text{в.котла}} = 10,57 \cdot 147 = 1553,79 \text{ нм}^3/\text{кг}$$

Внутрішній простір приміщень котельних боксів становить:

$$V_6 = 210 \text{ м}^3$$

Таким чином, корисний повітряний об'єм котельні складає:

$$V_{\text{п.к.}} = V_6 - V_{\text{об}} \quad (2.3)$$

$$V_{\text{п.к.}} = 210 - 25,6 = 184,4 \text{ м}^3$$

Для забезпечення шестикратного обміну повітря в приміщенні необхідний наступний об'єм повітря:

$$V_{\text{обміну}} = 6 \cdot V_{\text{п.к.}} \quad (2.4)$$

$$V_{\text{обміну}} = 6 \cdot 184,4 = 1106,4 \text{ м}^3/\text{год}$$

Загальна потреба в повітрі за годину визначається як сума повітря, необхідного для горіння трьох котлів, та повітря для вентиляції:

$$G_{\text{заг}} = 2 \cdot G_{\text{в.котла}} + V_{\text{обміну}} \quad (2.5)$$

$$G_{\text{заг}} = 2 \cdot 1553,79 + 1106,4 = 4214 \text{ м}^3/\text{год}$$

У котельні змонтовано електричний калорифер типу СФОО-4-15/1Т у поєднанні з вентилятором типорозміру №4, а також два припливні вентилятори типорозміру №4 з продуктивністю 2400 м³/год кожен (сумарна подача 4800 м³/год), два дефлектори та два витяжні вентилятори моделі DVF20 з продуктивністю 820 м³/год кожен. Проведений аналіз показує, що повітряний баланс котельні є збалансованим.

2.2 Обґрунтування вибору насосного обладнання

Визначення параметрів циркуляційних насосів котлового контуру. Об'ємна витрата води для забезпечення циркуляції в котлі може бути розрахована за наступною залежністю:

$$G_{\text{н}} = G_{\text{котла}} \frac{(t_{\text{п}}+5)-t_{\text{з}}}{t_{\text{п}}-t_{\text{з}}} \quad (2.6)$$

де $G_{\text{котла}}$ – продуктивність теплогенератора за об'ємом, м³/год;

$t_{\text{п}}$ – мінімально допустима температурна позначка теплоносія на вході до котла становить 55 °С;

$t_{\text{п}}$ – температурний показник теплоносія на виході з котла, °С;

$t_{\text{з}}$ – температурний показник теплоносія на вході до котла, °С.

Продуктивність котла за об'ємом визначається за формулою:

$$G_{\text{котла}} = \frac{Q_{\text{ном}}}{4,187 \cdot (\tau_1 - \tau_2)} \quad (2.7)$$

де $Q_{\text{ном}}$ – номінальна теплова потужність котла, кВт;

τ_1 – температурна позначка теплоносія на виході з котла відповідно до температурного графіка, °С;

τ_2 – температурна позначка теплоносія на вході до котла відповідно до температурного графіка, °С.

Звідси отримуємо:

$$G_{\text{котла}} = \frac{1049,5}{4,187 \cdot (95 - 70)} = 10,0 \text{ кг/с} = 36 \text{ м}^3/\text{год}$$

Згідно з температурним графіком, встановлено значення $t_{\text{п}} = 79^\circ\text{С}$ та $t_3 = 54^\circ\text{С}$.

Таким чином, необхідна витрата циркуляційного насоса становить:

$$G_{\text{н}} = 10 \cdot \frac{(55 + 5) - 54}{79 - 54} = 2,4 \text{ кг/с} = 8,6 \text{ м}^3/\text{год}$$

Враховуючи гідравлічний опір котла та сполучних трубопроводів, необхідний напір циркуляційного насоса приймається в діапазоні від 4 до 6 метрів водяного стовпа.

На підставі проведених розрахунків, обрано три циркуляційні насоси моделі Lowara FC 40-10T з наступними експлуатаційними характеристиками:

- Потужність електродвигуна – $N = 0,4$ кВт;
- Об'ємна подача – $Q = 8,6$ м³/год;
- Напір – $H = 5$ м.вод.ст.;
- Швидкість обертання ротора – $n = 2900$ об./хв.

Вибір циркуляційних насосів для систем центрального опалення та вентиляції. Згідно з попередніми розрахунками та побудованою п'єзометричною схемою, розрахункова витрата мережної води для систем опалення та вентиляції складає:

$$G_{o/v} = 13,8733 \text{ кг/с} = 49,9 \text{ м}^3/\text{год}$$

Загальні втрати тиску в тепловій мережі визначаються як сума гідравлічних опорів у подавальному (ΔH_{τ_1}) та зворотному (ΔH_{τ_2}) трубопроводах, втрат тиску в теплоспоживаючих об'єктах ($\Delta H_{\text{сп}}$) та гідравлічного опору котельні ($\Delta H_{\text{кот}}$):

$$\Delta H = \Delta H_{\tau_1} + \Delta H_{\tau_2} + \Delta H_{\text{сп}} + \Delta H_{\text{кот}} \quad (2.8)$$

Згідно з даними гідравлічного розрахунку:

$$\Delta H_{\tau_1} = \Delta H_{\tau_2} = 2,9 \text{ м. вод. ст}$$

Втрати тиску в приєднаних до теплової мережі будівлях прийнято на рівні:

$$\Delta H_{\text{сп}} = 7 \text{ м. вод. ст}$$

Гідравлічний опір котельні, зумовлений втратами тиску в основному та допоміжному обладнанні, трубопроводах та арматурі, оцінюється як:

$$\Delta H_{\text{кот}} = 5 \text{ м. вод. ст}$$

Таким чином, сумарні втрати тиску в тепловій мережі становлять:

$$\Delta H = 2,9 + 2,9 + 7 + 5 = 17,8 \text{ м. вод. ст.}$$

Необхідний напір мережевих насосів визначається з урахуванням коефіцієнта запасу:

$$\Delta H_{\text{м.н.}} = 1,1 \cdot \Delta H \quad (2.9)$$

$$\Delta H_{\text{м.н.}} = 1,1 \cdot 17,8 = 19,6 \text{ м. вод. ст}$$

На основі проведених розрахунків та використовуючи каталоги виробників обладнання та програмне забезпечення для підбору насосів Pumpselect, обрано два (один робочий, один резервний) мережеві насоси виробництва компанії Lowara, модель LNEE 100-200/55A, з наступними характеристиками:

- Потужність електродвигуна – $N = 5,5 \text{ кВт}$;
- Діапазон подачі – $Q = 35\text{--}165 \text{ м}^3/\text{год}$;
- Максимальний напір – $H = \text{до } 19,6 \text{ м. вод. ст.}$;
- Швидкість обертання ротора – $n = 2900 \text{ об./хв}$;
- Температурний діапазон теплоносія – від 0 до 120°C ;
- Клас захисту – IP55.

Мережеві насоси будуть додатково укомплектовані частотними перетворювачами Lowara Hydrovar HV 3с з інтерфейсом RS485 для оптимізації їхньої роботи.

3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВАРІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

3.1 Основи когенераційних установок

Когенерація – це одночасне виробництво електроенергії та тепла в одній установці. Електрика генерується первинним двигуном (газопоршневим, газовою або паровою турбіною), а тепло отримується з його втрат (охолодження, мастило, вихлопні гази).

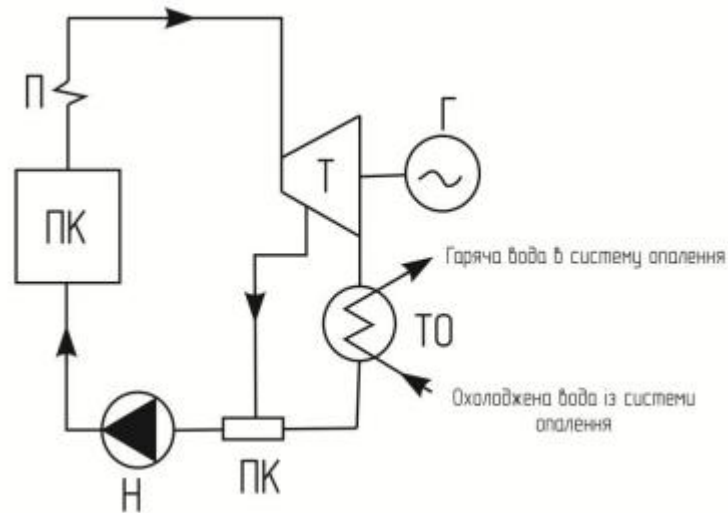
Вироблена електроенергія використовується для власних потреб та продажу, а тепло – для гарячої води, пари, охолодження та технологічних процесів.

Сучасні газопоршнєві когенераційні установки мають ККД до 90 %, що на 40 % вище, ніж роздільне виробництво енергії на конденсаційних електростанціях та котельнях.

У 2023 році 29,3 % електроенергії в Україні виробляли теплові електростанції (ТЕС, ТЕЦ), де паливо (вугілля, газ) нагріває воду до пари, яка обертає турбіну генератора. ККД таких ТЕС становить близько 38 %, значна частина енергії втрачається.

ТЕЦ, на відміну від конденсаційних станцій, використовують тепло від пароутворення для опалення та гарячого водопостачання, підвищуючи загальний ККД. Ефективність ТЕЦ залежить від близькості великих споживачів тепла.

В основі роботи ТЕЦ лежить цикл Ренкіна, де ключовим елементом є паровий котел високого тиску. Рисунок 3.1 ілюструє схему ТЕЦ з регенеративним та теплофікаційним теплообмінниками.



ПК – пристрій для генерації пари високого тиску; П – елемент для підвищення температури пари; Т – багатосекційна парова машина для перетворення теплової енергії пари в механічну; Г – агрегат для генерації електричного струму за рахунок механічної енергії; ТО – теплообмінний апарат для підігріву води, що використовується в системах опалення; Н – насос для подачі води в паровий котел;

Рисунок 3.1 – Принципова схема роботи ТЕЦ

Після першого ступеня турбіни частина пари йде на підігрів конденсату в регенеративному теплообміннику. Решта пари нагріває мережну воду для опалення та ГВП у теплофікаційному теплообміннику. Охолоджена мережна вода повертається, конденсуючи пару. Конденсат нагрівається в регенеративному теплообміннику та насосом повертається в котел.

Такий принцип роботи забезпечує ТЕЦ значно вищий ККД (70-85 %) порівняно з КЕС.

Зростання популярності малопотужних когенераційних установок зумовлене переважно локальним використанням виробленого тепла для опалення, що мінімізує витрати на теплові мережі, та використанням електроенергії безпосередньо на місці генерації, знижуючи її вартість та забезпечуючи енергетичну незалежність і можливість роботи як автономно, так і в синхроні з енергосистемою.

3.2 Характеристика роботи когенераційної установки Avus 800c

В рамках даної роботи передбачається реалізація проєкту зі спорудження електрогенеруючої (когенераційної) станції, що функціонуватиме на основі природного газу як енергоносія. Розташування даної установки планується на території котельного господарства, а саме поблизу будівлі котельної. Площі земельної ділянки, відведеної для обслуговування будівлі котельні, є цілком достатніми для розміщення всього технологічного комплексу утилізаційної установки.

Когенераційна установка Avus 800c виробництва німецької компанії 2G генеруватиме електричну та теплову енергію у формі гарячої води, призначеної для подальшого застосування в системах опалення та гарячого водопостачання.

Сумарна електрична потужність когенераційної електростанції складатиме 800 кВт. Електроенергія, отримана в результаті спалювання природного газу в когенераційній установці, буде спрямовуватися на забезпечення власних потреб котельні, а за наявності надлишкової генерації – безпосередньо передаватися до електричних мереж міста Суми з метою продажу.

Теплова енергія, вироблена в процесі спалювання газу в когенераційній установці, буде напряму подаватися до зворотної теплової магістралі котельні, розташованої за адресою вул. Г. Кондратьєва у місті Суми, здійснюючи підігрів теплоносія для зменшення споживання природного газу.

Візуальне представлення когенераційної установки наведено на рисунку 3.2.



Рисунок 3.2 – Представлено зовнішній вигляд когенераційної установки моделі AVUS 800c

Застосування комбінованого способу генерації теплової та електричної енергії характеризується суттєвими перевагами, серед яких слід відзначити:

- спрощену технологічну схему;
- відносно невисоку собівартість обладнання;
- можливість оперативного монтажу;
- здатність забезпечувати значну економічну ефективність функціонування енергетичного джерела.

Принципова схема функціонування когенераційної установки відображена на рисунку 3.3.

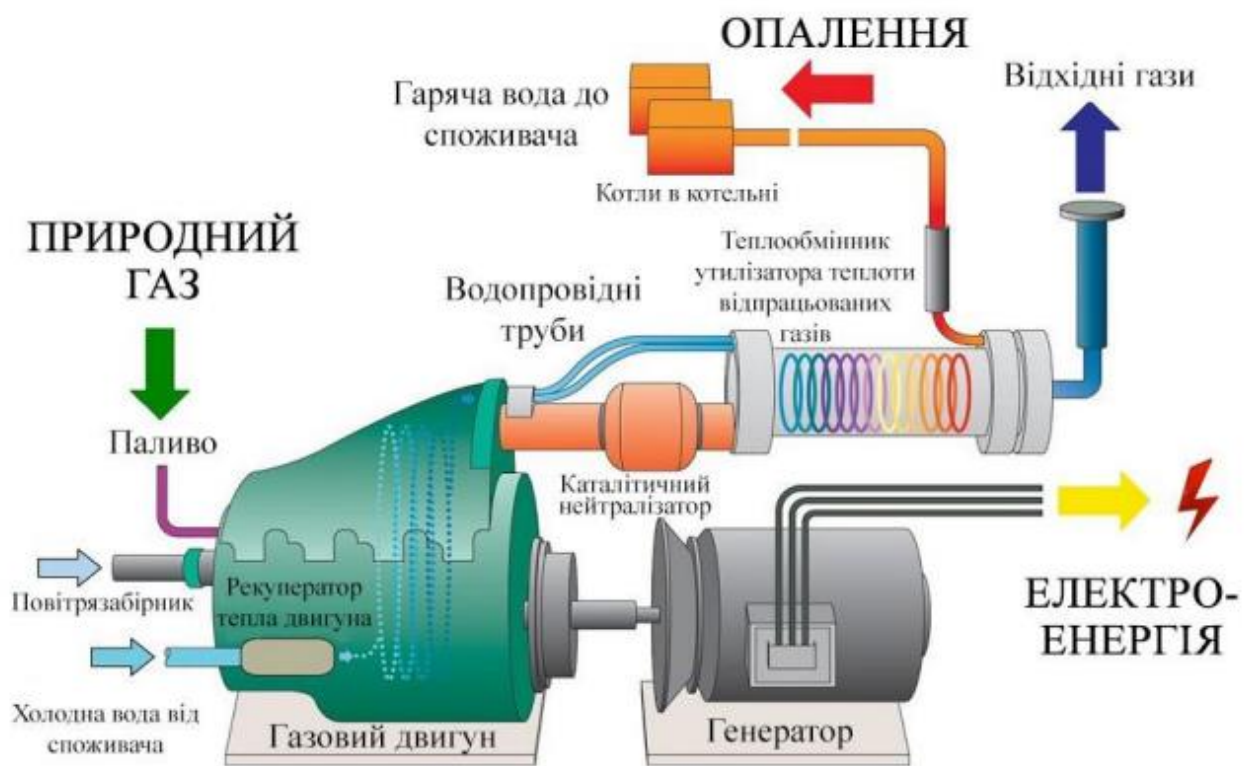


Рисунок 3.3 – Принципова схема когенераційної установки

G Avus 800c являє собою готову до підключення компактну блокову когенераційну електростанцію. Її стандартна комплектація включає:

- серійний промисловий газовий двигун виробництва MWM (Німеччина), оснащений стартером;
- синхронний силовий генератор Marelli MJV 400 LC4 (Італія) з повітряною системою охолодження;

- опорну зварну раму з високоміцної сталі;
- теплоутилізатор відпрацьованих газів, інтегрований у первинний контур охолодження;
- окислювальний каталізатор, встановлений у випускному теплообміннику;
- додатковий резервуар для мастила об'ємом 35 літрів з автоматичною системою поповнення;
- розподільний електричний щит з програмним керуванням та контролером;
- систему регулювання подачі газу та забезпечення безпеки експлуатації;
- запобіжні клапани в контурах двигуна, газоповітряної суміші та нагріву;
- комплект арматури для заповнення робочими рідинами, дренажу та видалення повітряних пробок;
- пластинчастий теплообмінник для передачі тепла;
- насоси для циркуляції охолоджуючої рідини двигуна, охолоджуючої суміші та теплоносія в контурі нагріву;
- триходовий змішувальний клапан для оптимізації температури зворотного теплового потоку;
- пакет технічної документації на ГПУ (паспорт, інструкція з експлуатації, принципові схеми).

Враховуючи зовнішнє розташування когенераційної установки, додатково передбачається поставка захисного контейнера з габаритними розмірами 12000×3000 мм та висотою 3000 мм, а також шумопоглинаючого пристрою для зниження рівня акустичного впливу.

Основні компоненти когенераційної установки 2G Avus 800с включають:

- первинний газопоршневий двигун MWM: шістнадцятициліндровий, з V-подібним розташуванням циліндрів, рідинною системою охолодження радіаторного типу, електронним регулятором швидкості обертання, газовим клапаном-регулятором та турбонаддувом;

- синхронний генератор Marelli MJB 400 LC4: трифазного струму, безщіткової конструкції, чотириполюсний, з одним опорним підшипником, системою самозбудження та автоматичним регулятором напруги (AVR). Обмотки статора виконані з укороченим кроком (2/3) для мінімізації гармонійних спотворень вихідної напруги.

Принципова схема функціонування когенераційної установки 2G Avus 800с представлена на рисунку 3.4.

Експлікація обладнання на схемі:

1. Когенераційна установка Avus 800с;
2. Контур охолодження двигуна, обладнаний утилізатором теплоти;
3. Додатковий контур охолодження (напрямку, без утилізатора теплоти);
4. Теплообмінник-утилізатор;
5. Байпасний газохід для продуктів згорання;
6. Шумоглушник;
7. Гідравлічний вирівнювач контуру охолодження двигуна;
8. Теплофікаційний теплообмінник;
9. Атмосферний охолодженувач теплоносія додаткового контуру охолодження двигуна без утилізації теплоти;
10. Атмосферний охолодженувач гріючого теплоносія після теплофікаційного теплообмінника;
11. Триходовий регулювальний клапан додаткового контуру охолодження двигуна;
12. Циркуляційний насос додаткового контуру охолодження двигуна;
13. Циркуляційний насос первинного контуру охолодження двигуна;
14. Циркуляційний насос гріючого теплоносія теплофікаційного теплообмінника;
15. Трьохходовий регульований клапан основної системи охолодження двигуна (з утилізацією теплоти);
16. Циркуляційний насос контуру охолодження гріючого теплоносія після теплофікаційного теплообмінника.

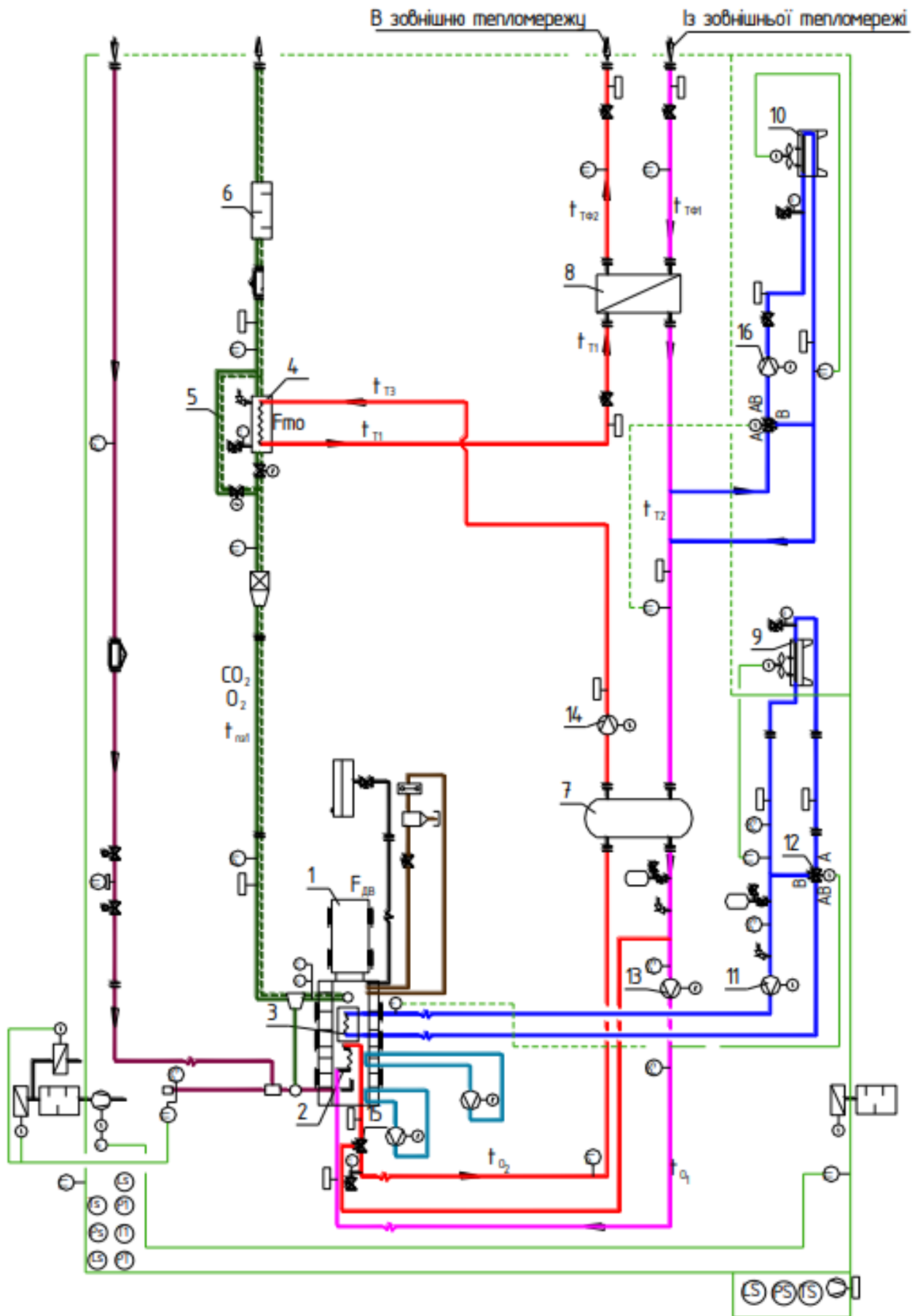


Рисунок 3.4 – Принципова схема роботи когенераційної установки Avus 800c

4 ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ОБ'ЄКТУ

Розробка робочого проєкту котельної установки здійснюється на основі наступних вихідних даних:

- технічного завдання на проектування;
- типу використовуваного палива;
- хімічного складу вихідної води.

Відповідно до технічних специфікацій, у котельні передбачається встановлення парових котлів типу НІИСТУ-5,0, призначених для генерації насиченої пари з абсолютним тиском, що не перевищує 0,9 МПа. Загальна теплова потужність котельні становить 1,4 МВт. Як паливо для котельні використовуватиметься природний газ.

Згідно з технічними вимогами до проектування, за критерієм надійності теплопостачання котельня відноситься до другої категорії.

Електрообладнанням котельні є електродвигуни технологічних та допоміжних механізмів (насосів, вентиляторів), електронагрівальні елементи, пристрої автоматизації котлів, а також система електричного освітлення.

Встановлена електрична потужність складає 33 кВт, включаючи робочу потужність 28,9 кВт та резервну – 4,1 кВт.

Для електричного підключення котельні рекомендується застосування мідного кабелю. Параметри силової електричної мережі становлять 380 В, 50 Гц, а ланцюгів керування – ~ 220 В.

В якості приводів використовуються асинхронні електродвигуни з короткозамкненим ротором. За рівнем надійності електропостачання споживачі електроенергії належать до II категорії. Передбачено комерційний облік спожитої електроенергії. Лічильник обліку розміщено в щиті допоміжного обладнання (ЩДО). Електроживлення споживачів здійснюється від ЩДО через автоматичні вимикачі.

Котельна установка функціонує безперервно, цілодобово, без планових зупинок. Таким чином, максимальна кількість робочих годин становить 4000.

4.1 Розрахунок електричних навантажень

Застосування методу коефіцієнта попиту для розрахунку електричних навантажень передбачає послідовний процес, що починається з нижчих рівнів напруги та поступово переходить до вищих. На цьому етапі відбувається об'єднання окремих електроприймачів у групи або вузли.

Таблиця 4.1 – Відображення результатів розрахунку електричних навантажень

Електроприймачі	P_n , кВт	Кількість споживачів	P_p , кВт	K_{Π}	$\cos\varphi_p$	$Tg\varphi_p$	Q_p , кВАр	S_p , кВА
Ел. освітлення	0,153	8	1,2	1	0,9	0,47	0,564	1,33
Насоси	3	3	7,2	0,8	0,95	0,32	2,304	7,56
Вентилятори	7	5	24,5	0,7	0,85	0,62	15,19	28,83
Ел. нагрівачі	6	2	10,8	0,9	0,8	0,84	9,072	14,1
Автоматика	5	1	3,5	0,7	0,75	1,07	3,745	5,13
Разом			47,2				30,875	56,95

Розрахунок активного навантаження (P_p) для кожного окремого електроприймача визначається за формулою:

$$P_p = K_{\Pi} \sum_{i=1}^n P_{n,i} \quad (4.1)$$

Зокрема, для першого електроприймача цей розрахунок виглядає наступним чином:

$$P_{p1} = K_{\Pi 1} \sum P_{n1} \quad (4.2)$$

$$P_{p1} = 1 \cdot 0,153 \cdot 8 = 1,2 \text{ кВт}$$

Аналогічним чином проводяться розрахунки для інших споживачів, результати яких будуть систематизовані у таблиці 4.1.

Коефіцієнт реактивної потужності для кожного споживача обчислюється за наступною формулою:

$$\operatorname{tg} \varphi_p = \operatorname{tg}(\arccos(\cos \varphi_H)) \quad (4.3)$$

Для першого споживача цей коефіцієнт становить:

$$\operatorname{tg} \varphi_{p1} = \operatorname{tg}(\arccos(0,9)) = 0,47$$

Розрахункове реактивне навантаження (Q_p) для кожного електроприймача визначається як:

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi_p \quad (4.4)$$

Відповідно, для першого електроприймача:

$$Q_{p1} = P_{p1} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{p1} \quad (4.5)$$

$$Q_{p1} = 1,2 \cdot 0,47 = 0,564 \text{кВАр}$$

Повне розрахункове навантаження (S_p) для збірки електроприймачів визначається за формулою:

$$S_p = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (4.6)$$

Для першої збірки це значення становить:

$$S_{p1} = \sqrt{P_{p1}^2 + Q_{p1}^2} \quad (4.6)$$

$$S_{p1} = \sqrt{1,2^2 + 0,564^2} = 1,33 \text{кВА}$$

На основі отриманої розрахункової потужності було обрано трансформатор типу ТМ-100/10.

Втрати активної потужності в трансформаторі (ΔP_T) визначаються як добуток коефіцієнта, що становить 0,02, на номінальну потужність трансформатора ($S_{ном.Т}$). У даному випадку розрахунок виглядає наступним чином:

$$\begin{aligned}\Delta P_T &= 0,02 \cdot S_{ном.Т} & (4.7) \\ \Delta P_T &= 0,02 \cdot 100 = 2\text{кВт}\end{aligned}$$

Аналогічно, втрати реактивної потужності в трансформаторі (ΔQ_T) розраховуються як добуток коефіцієнта 0,1 на номінальну потужність трансформатора:

$$\begin{aligned}\Delta Q_T &= 0,1 \cdot S_{ном.Т} & (4.8) \\ \Delta Q_T &= 0,1 \cdot 100 = 10\text{кВАр}\end{aligned}$$

4.2 Вибір проводів повітряної лінії напругою 380/220 В

Для визначення необхідного перерізу провідників та жил кабелів розрахунковий струм навантаження групи електроприймачів (I_p) обчислюється за наступною формулою:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H} \quad (4.9)$$

де S_p – повне розрахункове навантаження групи споживачів, кВА;

U_H – номінальна напруга мережі, кВ.

Зокрема, для першої групи споживачів розрахунок струму навантаження виглядає так:

$$I_{p1} = \frac{S_{p1}}{\sqrt{3} \cdot U_H} \quad (4.10)$$

$$I_{p1} = \frac{1,33}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 1,9A$$

Таблиця 4.2 – Дані параметри для розрахунку ліній

Споживач	№ лінії	Довжина лінії, м	Тип лінії	Потужність, що передбачається лінією	cosφ	Розрахунковий робочий струм лінії I _p , А
Ел. освітлення	1	41	кабельна лінія	1,2	0,9	1,9
Насоси	2	20	кабельна лінія	7,2	0,95	10,9
Вентилятори	3	32	кабельна лінія	24,5	0,85	41,6
Ел. нагрівачі	4	15	кабельна лінія	10,8	0,8	20,4
Автоматика	5	40	кабельна лінія	3,5	0,75	7,4

4.3 Вибір потужності силового трансформатора

Розрахунок навантажень методом коефіцієнта попиту проводиться від нижчих рівнів напруги до вищих, об'єднуючи електроприймачі у збірки (вузли).

Розрахункове активне навантаження P_p для кожного електроприймача:

$$P_p = K_{\pi} \cdot \sum P_{н.і} \cdot n \cdot i = 1 \quad (4.11)$$

$$P_{p1} = K_{\pi 1} \cdot \sum P_{н1} \quad (4.12)$$

$$P_{p1} = 1 \cdot 0,153 \cdot 8 = 1,2\text{кВт}$$

Інші споживачі розраховуються аналогічно.

За формулою обрахуємо коефіцієнт реактивної потужності кожного споживача:

$$tg\varphi_p = tg(\arccos(\cos\varphi_{н})) \quad (4.13)$$

$$tg\varphi_p = tg(\arccos(0,9)) = 0,47$$

Визначаємо розрахункове реактивне навантаження Q_p для кожного електроприймача:

$$Q_p = P_p \cdot \tan\varphi_p \quad (4.13)$$

$$Q_{p1} = P_{p1} \cdot \tan\varphi_{p1} \quad (4.14)$$

$$Q_{p1} = 1,2 \cdot 0,47 = 0,564 \text{ кВАр}$$

Визначаємо повне розрахункове навантаження S_p збірки:

$$S_p = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (4.15)$$

$$S_{p1} = \sqrt{P_{p1}^2 + Q_{p1}^2} \quad (4.16)$$

$$S_{p1} = \sqrt{1,2^2 + 0,564^2} = 1,33 \text{ кВА}$$

Обираємо трансформатор ТМ-100/10 згідно заданої потужності. Параметри трансформатора наведено в таблиці нижче 4.4.

Таблиця 4.4 – Параметри трансформатора

Тип трансформатора	Номинальна потужність, кВА	Номинальна напруга, кВ		Напруга КЗ, %	Струм ХХ, %	Втрати, Вт	
		ВН	НН			ХХ, Вт	КЗ, Вт
ТМ-100/10	100	6/10	0,4	4,5	1,0	305	1970

Розрахунок втрат активної та реактивної потужності в трансформаторі:

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot S_{\text{ном.Т}} \quad (4.7)$$

$$\Delta P_T = 0,1 \cdot 100 = 10 \text{ кВт}$$

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

У сучасних умовах експлуатації енергоємного обладнання питання охорони праці є не просто вимогою законодавства, а необхідною умовою надійного та безпечного функціонування інженерних систем. Під час реконструкції системи електропостачання котельні ТОВ «СУМИТЕПЛОЕНЕРГО» із впровадженням резервного джерела електричної енергії виникає комплекс потенційних виробничих ризиків. Це зумовлює потребу в ретельному аналізі умов праці, оцінці факторів впливу та впровадженні ефективних заходів захисту персоналу.

Метою даного розділу є обґрунтування технічних, організаційних та санітарно-гігієнічних заходів, спрямованих на забезпечення безпеки працівників, які експлуатують обладнання котельні та когенераційну установку, а також на запобігання нещасним випадкам, професійним захворюванням та аваріям.

Характеристика небезпечних та шкідливих виробничих чинників.

Котельня, як об'єкт з підвищеною небезпекою, характеризується наявністю низки потенційно небезпечних факторів, зокрема:

- Електричний струм високої напруги – існує ризик ураження при пошкодженні ізоляції, недотриманні правил експлуатації чи в разі аварійної ситуації.
- Підвищена температура обладнання та навколишнього середовища – може спричинити тепловий удар, опіки, теплову втому.
- Газоподібне паливо – утворення вибухонебезпечної суміші внаслідок витоків, несправностей арматури або порушення регламенту обслуговування.
- Рухомі механічні частини – обертові елементи вентиляторів, насосів, генераторів становлять загрозу травмування.
- Високий рівень шуму – особливо при роботі когенераційної установки.
- Недостатня освітленість – погіршує умови праці, сприяє підвищенню аварійності.

- Хімічні речовини – використання мийних, антикорозійних або теплоносієвих рідин може призвести до подразнення або отруєння.

Електробезпека. Електроустановки котельні класифікуються як такі, що працюють у середовищі з підвищеною небезпекою. Основними напрямками забезпечення електробезпеки є:

- Системне заземлення всіх корпусів електрообладнання;
- Використання захисного відключення при струмах витоку (ПЗВ не більше 30 мА);
- Маркування та блокування потенційно небезпечних елементів;
- Роздільне електроживлення ланцюгів управління (напруга 24–220 В);
- Регулярне вимірювання опору ізоляції кабелів, шинопроводів;
- Перевірка відповідності електрообладнання класу захисту IP55/IP65.

Обслуговування електроустановок повинно здійснюватися лише персоналом, який має не нижче III групи допуску з електробезпеки, пройшов відповідне навчання та перевірку знань.

Протипожежні заходи. Особливості об'єкта – використання газу, електрики та підвищених температур – визначають високий рівень пожежної небезпеки. Протипожежний захист забезпечується:

- Автоматичною системою пожежної сигналізації (АПС);
- Монтаж системи раннього виявлення газу з виведенням сигналів на центральний пульт;
- Використанням сертифікованих вогнегасників (вуглекислотних, порошкових);
- Чітким зонуванням території та евакуаційними схемами;
- Регулярними тренуваннями персоналу щодо дій у разі пожежі або витоку газу;
- Оприлюдненням інструкцій з пожежної безпеки у кожному приміщенні;
- Встановленням блискавкозахисту згідно з ДБН В.2.5-38:2008.

Всі елементи трубопроводів з газом та парами повинні бути ізольовані негорючими матеріалами.

Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ). Працівники котельні зобов'язані користуватись такими ЗІЗ:

- Костюми з негорючої тканини;
- Захисні рукавиці, окуляри, каски;
- Протипилові респіратори (при чищенні фільтрів);
- Діелектричні рукавиці, килимки (для електриків);
- Навушники (в зонах з рівнем шуму понад 85 дБ).

Видача ЗІЗ повинна здійснюватися згідно з нормами типових галузевих положень (НПАОП 0.00-3.07-09).

Висновки по розділу. Проектна документація, що супроводжує реконструкцію системи електропостачання котельні, містить всі необхідні рішення щодо зниження професійних ризиків. Комплекс заходів, описаний у цьому розділі, забезпечує створення безпечного та комфортного робочого середовища, зменшує ймовірність аварійних ситуацій та сприяє збереженню життя і здоров'я працівників.

6 ЕКОЛОГІЧНА ЕКСПЕРТИЗА

У контексті сучасного підходу до проектування об'єктів тепло- та енергопостачання важливою складовою є екологічна безпека. Під час реконструкції системи електропостачання котельні ТОВ «СУМИТЕПЛОЕНЕРГО» та впровадження газової когенераційної установки необхідно враховувати екологічні аспекти діяльності як під час будівельно-монтажного етапу, так і при подальшій експлуатації об'єкта.

Метою цього розділу є оцінка можливого впливу запроєктованих заходів на навколишнє природне середовище та визначення обсягу природоохоронних заходів згідно з чинним законодавством України, зокрема:

- Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища»;
- Закон України «Про екологічну експертизу»;
- Закон України «Про оцінку впливу на довкілля (ОВД)»;
- ДБН А.2.2-1-2003, ДСТУ ISO 14001:2015 та ін.

6.1 Аналіз джерел впливу на довкілля

Атмосферне повітря. Основним джерелом викидів забруднюючих речовин у процесі експлуатації котельні є згоряння природного газу в котлах НИИСТУ-5 та когенераційній установці Avus 800с.

Очікувані викиди:

- Оксиди азоту (NO_x);
- Вуглекислий газ (CO₂) – парниковий газ;
- Оксиди вуглецю (CO);
- Незначні концентрації вуглеводнів та частинок сажі.

Особливістю об'єкта є високий ККД когенераційної установки, що дозволяє суттєво знизити сумарні викиди на одиницю виробленої енергії. До того ж, використання високоефективних пальників та каталітичного нейтралізатора на вихлопі дозволяє знизити концентрацію шкідливих речовин

до гранично допустимих рівнів (ГДК), встановлених МОН, МОЗ та Міндовкіллям.

Водні ресурси. Котельня підключена до централізованої системи водопостачання та водовідведення, що знижує ризик забруднення ґрунтових вод. Хімічна підготовка води здійснюється за закритим циклом з мінімальним водозабором та незначним скиданням у каналізацію.

У рамках проєкту передбачено:

- використання екологічно безпечних реагентів;
- регулярний моніторинг стану фільтрів;
- герметизація з'єднань трубопроводів для уникнення протікань;
- збір промивних вод у спеціальну ємність із подальшою утилізацією.

Ґрунт і земельні ресурси. Земельна ділянка використовується за цільовим призначенням. Нове обладнання (когенераційна установка) розміщується в межах існуючої промислової території, тому зміна функціонального призначення земель не передбачена.

Для запобігання забрудненню ґрунту:

- передбачено бетонування основи під обладнання;
- всі вузли, що містять мастило або паливо, мають піддони-уловлювачі;
- організовано централізований збір відпрацьованих речовин у закриті ємності.

Шумове навантаження. Когенераційна установка, насосне та вентиляційне обладнання є джерелами підвищеного шуму. Оскільки об'єкт розташований у міській зоні, відповідно до ДСН 3.3.6.037-99 рівень шуму в межах житлової забудови не має перевищувати 55 дБ вдень і 45 дБ вночі.

Для зменшення акустичного навантаження передбачено:

- розміщення установки у шумоізолюваному контейнері;
- встановлення глушників на повітроводах;
- антивібраційні кріплення насосів і двигунів.

6.2 Енергоефективність і скорочення викидів

Використання когенераційної технології дозволяє:

- скоротити втрати енергії на передачу та трансформацію;
- зменшити залежність від зовнішнього електропостачання;
- знизити викиди CO₂ до 25-30 % у порівнянні з традиційною генерацією тепла та електроенергії окремо;
- ефективно утилізувати втрати тепла, які в традиційних ТЕС викидаються в атмосферу.

6.3 Заходи з охорони навколишнього середовища

Моніторинг і облік викидів згідно з методиками Міндовкілля.

Встановлення газоаналізаторів для автоматичного контролю складу вихлопних газів.

Організація екологічного аудиту об'єкта не рідше одного разу на 5 років.

Укладання договорів з ліцензованими компаніями на утилізацію:

- відпрацьованих масел;
- промивних вод;
- зношених фільтрів.

Озеленення прилеглої території (висадка дерев, кущів, газонів).

Екологічна освіта та підвищення обізнаності персоналу (інструктажі, тренінги, стенди).

Реконструкція електропостачання котельні з інтеграцією когенераційної установки не створює значного навантаження на навколишнє середовище. Завдяки впровадженню сучасних енергозберігаючих технологій та природного газу як найбільш екологічного викопного палива, рівень викидів забруднюючих речовин та шуму не перевищуватиме допустимих меж.

Проект відповідає принципам сталого розвитку, забезпечує ефективне використання ресурсів, безпечну експлуатацію для людей та мінімальний вплив на екосистему.

7 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЄКТУ

Метою економічного обґрунтування є оцінка доцільності впровадження проектних рішень з реконструкції системи електропостачання котельні ТОВ «Сумитеплоенерго» по вул. Г. Кондратьєва в м. Суми, зокрема впровадження газової когенераційної установки типу Avus 800с. Даний аналіз дозволяє визначити рівень капітальних витрат, обсяг очікуваної економії, термін окупності та загальний економічний ефект від реалізації заходу.

Склад витрат. До основних витрат, пов'язаних із реалізацією проекту, а саме втрати, що наведені в таблиці 7.1.

№	Стаття витрат	Вартість, тис. грн
1	Закупівля когенераційної установки Avus 800с	12 500
2	Проектні та монтажні роботи	1 800
3	Пусконаладжувальні роботи	600
4	Підключення до газових мереж та електричних щитів	1 100
5	Придбання допоміжного обладнання (насоси, автоматика)	900
6	Будівельні роботи та контейнер для установки	1 500
7	Резерв (непередбачені витрати, ~5%)	900
Разом		19 300

Очікувані економічні результати. Економія електроенергії. Станом на 2024 рік середня ціна 1 кВт·год електроенергії для промисловості становить \approx 4,2 грн/кВт·год. Когенераційна установка виробляє 800 кВт електричної потужності при номінальному навантаженні.

Річна генерація (4000 год/рік):

$$E_{\text{ел}} = 800 \text{ кВт} \cdot 4000 \text{ год} = 3\,200\,000 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

Економія:

$$3\,200\,000 \cdot 4,2 \text{ грн} = 13\,440\,000 \text{ грн/рік}$$

Заміщення теплової енергії. Когенераційна установка також виробляє ≈ 900 кВт теплової енергії (гаряча вода). Вартість тепла від газових котлів ~ 1300 грн/Гкал.

Річна теплогенерація (при ККД $\sim 0,85$):

$$Q = 900 \text{ кВт} \cdot 4000 \text{ год} \cdot 0,85 = 3\,060\,000 \text{ кВт}\cdot\text{год} = 2636 \text{ Гкал}$$

Економія:

$$2636 \cdot 1300 = 3\,426\,800 \text{ грн/рік}$$

Доходи від продажу надлишкової електроенергії ($\approx 25\%$).

За умови часткового продажу (до 800 тис. кВт·год) по тарифу «зеленого» ринку ($\sim 4,5$ грн/кВт·год):

$$\text{Дохід} = 800\,000 \cdot 4,5 = 3\,600\,000 \text{ грн/рік}$$

Сумарна річна економія/дохід:

$$13\,440\,000 + 3\,426\,800 + 3\,600\,000 = 20\,466\,800 \text{ грн/рік}$$

Розрахунок терміну окупності.

$$\text{Термін окупності} = \frac{\text{Капітальні витрати}}{\text{Річна економія}}$$

$$\text{Термін окупності} = 19\,300\,000 / 20\,466\,800 \approx 0,94 \text{ року}$$

Розрахунок чистого прибутку та рентабельності. За вирахуванням умовно змінних витрат (техобслуговування, газ, амортизація – орієнтовно 30 % від доходу):

Очікуваний чистий прибуток $\approx 20,5$ млн $\cdot 0,7 = 14\,326\,000$ грн/рік.

$$\text{Рентабельність} = \frac{\text{Чистий прибуток}}{\text{Інвестиції}} \cdot 100\%$$

$$\text{Рентабельність} = \frac{14326000}{19300000} \cdot 100\% = 74,2\%$$

Висновки по розділу. Економічний аналіз показує, що реалізація проєкту з реконструкції електропостачання та встановлення когенераційної установки є фінансово доцільною, високорентабельною та має короткий термін окупності – менше одного року. Додатково, проєкт сприяє зменшенню експлуатаційних витрат, підвищенню енергетичної стабільності об'єкта та покращенню екологічної ситуації в регіоні.

ВИСНОВОК

У результаті виконаної дипломної роботи на тему «Реконструкція системи електропостачання котельної по вул. Г. Кондратьєва ТОВ «СУМИТЕПЛОЕНЕРГО» м. Суми з розробкою системи аварійного забезпечення електричної енергії» було досягнуто ряд технічних, енергетичних, екологічних та економічних результатів.

У ході дослідження:

- Проаналізовано поточний стан електропостачання котельної, виявлено основні проблеми, пов'язані з застарілим обладнанням, відсутністю резервних джерел живлення та низькою енергоефективністю.

Запропоновано технічне рішення з реконструкції електричної частини, яке передбачає модернізацію електрощитових пристроїв, вибір сучасного обладнання для живлення технологічних споживачів та покращення надійності системи.

Розроблено систему аварійного забезпечення електричною енергією на базі когенераційної установки Avus 800с, яка дозволяє забезпечити безперервну роботу котельного обладнання навіть у разі повного знеструмлення зовнішніх мереж.

Виконано інженерні розрахунки, зокрема електричних навантажень, вибору силового трансформатора, розрахунку перерізів проводів, підбору насосного обладнання та систем вентиляції.

Проведено оцінку екологічного впливу проекту, яка підтвердила відповідність запропонованих технічних рішень чинним нормативам щодо охорони атмосферного повітря, водних та земельних ресурсів, а також захисту від шуму. Впровадження когенераційної установки сприятиме скороченню викидів CO₂ та підвищенню загальної екологічної безпеки регіону.

Обґрунтовано економічну доцільність реалізації проекту. Проведений аналіз показав, що термін окупності капітальних витрат становить менше одного

року, а рівень рентабельності перевищує 70 %. Це свідчить про високу ефективність впроваджених рішень.

Розроблено комплекс заходів з охорони праці, спрямованих на забезпечення безпечних умов експлуатації електротехнічного та теплогенеруючого обладнання, запобігання нещасним випадкам, зниження виробничих ризиків і дотримання нормативних вимог.

Отже, реалізація даного проекту дозволяє значно підвищити надійність, безпеку, енергоефективність та екологічність роботи об'єкта тепlopостачання. Запропоновані технічні рішення відповідають сучасним вимогам до енергетичної інфраструктури України та можуть бути впроваджені на аналогічних об'єктах з метою оптимізації їх функціонування в умовах нестабільного енергопостачання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Правила улаштування електроустановок. – 5-те вид., перероблене і доповнене (станом на 21.07.2017). – Міненерговугілля України, 2017. – 617 с
2. Електротехнічні матеріали та вироби. Навчальний посібник. Тимофеев Ігор Олександрович. Лань, 2021, 268 с.
3. О.Ю. Юрченко, Г.В. Барсукова, А.В. Чепіжний, Г.А. Тимошенко // Монтаж електрообладнання і систем керування. Монтаж щитів керування електричними двигунами // Навчально-методичний посібник для здобувачів освіти 2, 1 с.т. курсів спеціальності: «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» інженерно-технологічного факультету денної та заочної форми навчання, СВО «бакалавр». – Суми: СНАУ, 2023. – 144 с.
4. Козирський В.В. Основи електропостачання [Текст] : підручник / В.В. Козирський, С.М. Волошин. – Київ : Компринт, 2021. – 497 с.
5. Електричні мережі та системи: Конспект лекцій [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», спеціалізації «Інжиніринг інтелектуальних електротехнічних та мехатронних комплексів» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: С.П. Шевчук, О.В. Мейта. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022.– 167с.
6. Давиденко Л.В. Електропостачання промислових об'єктів. Практикум [Текст]: навчальний посібник / Л.В. Давиденко, Н.В. Коменда, В.А. Давиденко, М.М. Євсюк – Луцьк : ВІП ЛНТУ, 2022.– 244 с.
7. Named Haggi James M. Fenton. Techno-Economic Assessment of Net-Zero Energy Buildings: Financial Projections and Incentives for Achieving Energy Decarbonization Goals. December 2024. DOI:10.48550/arXiv.2412.00874.
8. Xue Wang, Xiaolei Zhang, Jianqi Song (2023). The analysis of solar energy investment, digital economy, and carbon emissions in China Sec. Solar Energy, 11. Available at: <https://doi.org/10.3389/fenrg.2023.1183857>

9. Chen, X., Song, C., Wang, T. (2022). Analysis of energy losses and energy consumption law in low-voltage zones. *Journal of Physics: Conference Series*, 1(012016). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2022/1/012016>
10. Carr, D., & Thomson, M. (2022). Non-technical energy losses. *Energies*, 15(6), 2218. <https://doi.org/10.3390/en15062218>
11. Lom, M., & Pribyl, O. (2021). Smart city model based on systems theory. *International Journal of Information Management*, 56, 102092.
12. Humayun, M., Alsaqer, M. S., & Jhanjhi, N. (2022). Energy optimization for smart cities using iot. *Applied Artificial Intelligence*, 36(1), 2037255.
13. Ullah, Z., Naeem, M., Coronato, A., Ribino, P., & De Pietro, G. (2023). Blockchain applications in sustainable smart cities. *Sustainable Cities and Society*, 97, 104697.
14. Васи́лець С., Васи́лець К., Ільчук В. Оцінювання точності вузла обліку електроенергії при зниженому струмі навантаження. *Modeling, Control and Information Technologies* 2024-12-07. Journal article DOI: [10.31713/MCIT.2024.020](https://doi.org/10.31713/MCIT.2024.020)
15. Vasylets, S., & Vasylets, K. (2019). Refinement of the mathematical model of frequency converter cable branch with a singlephase short circuit. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4(9 (100), 27–35. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.176571>
16. Kholiddinov I. Kh, Musinova Gulasalkhon, Yulchiev M.E., et al. Modeling of calculation of voltage unbalance factor using Simulink (Matlab) // *The American Journal of Engineering And Techonology*. 2020. V.2. № 10. pp. 33-37.
17. Вовк О.Ю. Метод періодичного діагностування асинхронних двигунів/ О.Ю. Вовк, Л.М. Безменнікова, С.О. Квітка // *Праці ТДАТУ*. – 2010. - № 10, Т4. - С. 39-46.
18. Somka O, M. Zagirnyak, V. Prus. Reliability Models of Electric Machines with Structural Defects Proceedigs 2015 16th International Conference on “Computational Problems of Electrical Engineering” CPEE–2015, – Lviv, Ukraine, 2015. – p. 249-251.

19. Somka O., M. Zagirnyak, V. Prus, The methods for accounting the degree of electric machines aging in the assessment of their reliability 2019 IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES) – Kremenchuk, Ukraine, 2019. – P.194-197
20. Billinton and Ronald N. Allan, “Reliability Evaluation of Engineering Systems: Concepts and Techniques”, Second Edition, Springer-Verlag, Berlin 181 (Germany), 2008. – 342 p.
21. Matlab, Getting Started Guide, R2011b. The MathWorks, Inc., 3 Apple Hill Drive, Natick, MA 01760-2098, USA, 276 p.
22. Сьомка О. О., В. В. Прус Комп’ютеризований діагностичний комплекс для випробувань електричних машин на надійність Науковопрактичний журнал «Електротехніка і електромеханіка» – Харків: Національний технічний університет «ХПІ», 2015. – Вип. 3/2015 – Ст. 27–30.
23. Сьомка О. О., В.В. Прус, С.Є. Дзеніс Обґрунтування впливу процесу старіння на електричні та магнітні властивості шихтованих осердь електричних машин Вісник Національного технічного університету „Харківський політехнічний інститут”. Збірник наукових праць. Серія: Електричні машини та електромеханічне перетворення енергії – Х. : НТУ „ХПІ”. - 2016. - № 11 (1183) 2016 – С. 115-122.
24. M. Zagirnyak, V. Prus, Siomka O. Electric machine reliability prediction models taking into account the state of major structural components Proceedings of the abstracts the 15th International Conference on “Computational Problems of Electrical Engineering” CPEE–2014, – Terchova – Vratna dolina, Slovak Republic, 2014. – P. 57
25. O. Somka, V. Prus, A. Nikitina Somka O. The determination of the condition of the windings of electric machines with long mean-time-between failures 2017 International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES) – Kremenchuk, 2017. – P. 164-167.
26. M. Zagirnyak, A. Kalinov, and Zh. Romashykhina, “Decomposition of electromotive force signal of stator winding in induction motor at diagnostics of the

rotor broken bars”, Scientific Bulletin of National Mining University, issue 4(154), 2016, pp. 54–61.

27. В. В. Прус, Сьомка О. О. Зміна властивостей електротехнічної сталі під впливом теплових та механічних факторів / Збірник наукових праць XIII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених і спеціалістів у місті Кременчук 8-9 квітня 2015 р. – Кременчук, КрНУ, 2015. – С. 229-230.

28. Somka O. The use of the thermal image control in the current monitoring of electric machines / M. Zagirnyak, V. Prus, O. Somka // Book of digests the 7th Symposium on Applied Electromagnetics SAEM'2018. – Podčetrtek, Slovenia, 2018. – P. 9–10.