

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ  
ННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

**ПОГОДЖЕНО**  
Директор ННІ енергетики  
автоматики і енергозбереження

проф., д.т.н. \_\_\_\_\_ **КАПЛУН В.В.**  
(підпис)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

**ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ**  
Завідувач кафедри  
інженерії енергосистем

доц., к.т.н. \_\_\_\_\_ **АНТИПОВ Є.О.**  
(підпис)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

на тему: **«РОЗРОБКА СИСТЕМ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ ФЕРМЕРСЬКОГО  
ГОСПОДАРСТВА З ВИКОРИСТАННЯМ КОГЕНЕРАЦІЙНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ»**

Спеціальність 144 – Теплоенергетика  
Освітня програма Інженерія відновлювальних джерел енергії  
Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

**Гарант освітньої програми**

\_\_\_\_\_ **д.т.н., професор**  
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис)

**Горобець В. Г.**  
(ПІБ)

**Керівник магістерської кваліфікаційної роботи**

\_\_\_\_\_ **д.т.н., професор**  
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис)

**Горобець В. Г.**  
(ПІБ)

**Виконав**

\_\_\_\_\_ (підпис)

**Карпа О.Р.**  
(ПІБ)

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ  
ІННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
**Завідувач кафедри**  
**інженерії енергосистем**  
к.т.н., доцент АНТИПОВ Є.О.  
(підпис)  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ЗДОБУВАЧУ**  
**Карпі Остапу Романовичу**

Спеціальність 144 – Теплоенергетика  
Освітня програма Інженерія відновлювальних джерел енергії  
Орієнтація освітньої програми освітньо-наукова  
Тема магістерської кваліфікаційної роботи: «Розробка системи енергопостачання фермерського господарства з використанням когенераційних технологій»  
затверджена наказом ректора НУБіП України від 18.11.2024 № 2061”С”  
Термін подання завершеної роботи на кафедру 14.11.2025  
Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи: Технічна документація, нормативно – правова література.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Характеристика базового господарства та його енергоспоживання.
2. Дослідження принципів і класифікації когенераційних систем.
3. Розрахунок теплового балансу та енергетичних потреб господарства.
4. Техніко-економічне обґрунтування вибору когенераційної установки.
5. Оцінка енергоефективності та терміну окупності проєкту.

Дата видачі завдання «19» листопада .2024 р.

**Керівник магістерської  
кваліфікаційної роботи**

\_\_\_\_\_ (підпис)

**Горобець В. Г.**

(ПІБ)

**Завдання прийняв до виконання**

\_\_\_\_\_ (підпис)

**Карпа О.Р.**

(ПІБ)

## РЕФЕРАТ

Магістерська кваліфікаційна робота: пояснювальна записка – **63 сторінки, 10 таблиць, 15 рисунків, 22 джерела.**

У першому розділі проведено аналіз стану енергопостачання фермерських господарств в Україні, розглянуто основні тенденції енергоспоживання та напрями підвищення енергоефективності. Наведено загальну характеристику базового фермерського господарства, описано його виробничу структуру, енергетичні потреби та особливості функціонування.

У другому розділі виконано дослідження сучасних когенераційних систем. Проаналізовано типи когенераційних установок, принципи їх роботи, переваги та сфери застосування у сільському господарстві. Окрему увагу приділено аналізу конструктивних елементів когенераційних установок і визначенню їх технічних характеристик.

У третьому розділі проведено тепловий аналіз і розрахунок енергопотреб фермерського господарства. Визначено споживачів теплоти, виконано розрахунки теплової потужності систем опалення, вентиляції та гарячого водопостачання для забезпечення оптимальних мікрокліматичних умов у тваринницьких приміщеннях.

У четвертому розділі розглянуто вибір і розрахунок електротехнологічного обладнання фермерського господарства. Обґрунтовано вибір системи видалення гною, доїльного та холодильного обладнання, виконано розрахунок освітлювальних установок і силової електромережі тваринницького комплексу.

У п'ятому розділі здійснено проектування та розрахунок когенераційної системи енергопостачання. Проведено вибір типу когенераційної установки, описано принцип її роботи, складники та технічні характеристики на прикладі установки PowerLink CG150-NG. Розглянуто схему взаємодії елементів системи, принцип керування та забезпечення теплової й електричної енергії споживачі

У шостому розділі подано економічну оцінку проектного рішення. Визначено капітальні витрати на реалізацію проекту, собівартість виробленої енергії, термін окупності когенераційної системи та економічний ефект від її впровадження.

У висновках узагальнено результати проведених досліджень і розрахунків, підтверджено доцільність використання когенераційної установки PowerLink CG150-NG для забезпечення енергетичної автономності фермерського господарства та підвищення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів.

**Ключові слова:** енергопостачання, фермерське господарство, когенерація, PowerLink CG150-NG, система опалення, вентиляція, енергоефективність, економічна оцінка, теплова потужність.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	3
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ ФЕРМЕРСЬКИХ ГОСПОДАРСТВ І ХАРАКТЕРИСТИКА БАЗОВОГО ПІДПРИЄМСТВА .....	6
1.1. Фермерських господарств та їх енергоспоживання .....	6
1.2. Загальна характеристика базового фермерського господарства .....	8
РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ КОГЕНЕРАЦІЙНИХ СИСТЕМ .....	11
2.1. Види когенераційних систем .....	11
2.2. Дослідження компонентів когенераційних установок .....	14
РОЗДІЛ 3. ТЕПЛОВИЙ АНАЛІЗ І РОЗРАХУНОК ЕНЕРГОПОТРЕБ ФЕРМЕРСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА .....	20
3.1. Споживачі теплоти .....	20
3.2. Розрахунок теплової потужності систем опалення і вентиляції .....	21
3.3. Розрахунок теплової потужності системи гарячого водопостачання .....	24
РОЗДІЛ 4. ВИБІР ТА РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ .....	26
4.1. Вибір основного технологічного обладнання .....	26
4.1.1. Вибір системи для видалення гною .....	26
4.1.2. Вибір обладнання для доїння корів .....	27
4.1.3. Вибір холодильної установки .....	28
4.2. Розрахунок освітлювальних установок .....	30
4.3. Розрахунок силової мережі тваринницького комплексу .....	38
РОЗДІЛ 5. ПРОЕКТУВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК КОГЕНЕРАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ .....	44
5.1. Вибір типу та принципу дії когенераційної установки .....	44

5.2. Вибір когенераційної установки .....	45
5.3. Опис складників когенераційної установки PowerLink CG150-NG.	49
<b>РОЗДІЛ 6. ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ПРОЕКТНОГО РІШЕННЯ.....</b>	<b>55</b>
6.1. Капітальні витрати на реалізацію проекту.....	55
6.2. Розрахунок собівартості й терміну окупності .....	56
<b>ВИСНОВОК .....</b>	<b>60</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>	<b>62</b>

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

- $q_i$  – питоме теплове навантаження, Вт/м<sup>2</sup>;
- $F_i$  – площа поверху, м<sup>2</sup>;
- $K$  – поправочний коефіцієнт;
- $q_0$  – укрупнена питома характеристика, Вт/(м<sup>2</sup>·К);
- $V_{\text{прим}}$  – об'єм приміщення в будівельних межах, м<sup>3</sup>;
- $t_{\text{вн}}, t_3^0$  – задані значення температур для внутрішнього та зовнішнього середовища;
- $N$  - кількість корів;
- $Q$  - показник ефективності роботи оператора машинного доїння ( $Q = 25$ );
- $n$  – кількість операторів ( $n = 4$ );
- $\Delta t = 0,3 \dots 0,4$  год - загальний час, необхідний для промивання молокопроводу;
- $a$  - довжина площадки;
- $y$  - ширина площадки;
- $H$  - висота підвісу світильника;
- $H_c$  - висота звису підвісного світильника;
- $H_{\text{р.п}}$  - висота робочої поверхні;
- $I_a$  - світловий потік в зональному кутку КСС «М» який нормалізовано до 1000А;
- $E_n$  - норма освітленості;
- $K_3$  - коефіцієнт запасу;
- $\mu$  - коефіцієнт врахування додаткового освітлення від інших світильників.
- $\eta_c$  - ККД світильника ( $\eta_c = 0,85$ );
- $\lambda_c$  - оптимальна відстань між світильниками з використанням КСС типу "Д"  $\lambda_c = 1,4$ ;
- $A$  - площа приміщення, м<sup>2</sup>;

$E_H$  - норма освітленості , лк;

$K_3$  - коефіцієнт запасу;

$z$  - коефіцієнт нерівномірності (  $z = 1,1 \dots 1,2$  стор.23 (л - 4));

$\theta = 90^\circ$  - кут нахилу поверхні.

$\Sigma P_{Л.Н.}$  – загальна потужність ламп розжарювання;

$\Sigma P_{Л.Л.}$  – загальна потужність люмінесцентних ламп;

,  $I_c$  – струм силової мережі;

$I_o$  – струм освітлювальної мережі.

$P_{ж}$  – сумарна енергетична потреба обох тваринницьких комплексів;

$P_m$  – потужність молочного блоку.

$P_c$  - потужність силової мережі;

$P_o$  - потужність освітлювальної мережі.

Скорочення:

ККД – коефіцієнт корисної дії;

НУБіП – Національний університет біоресурсів і природокористування

України;

НДГ – навчально-дослідне господарство;

КУ – когенераційна установка.

## ВСТУП

**Актуальність:** Сучасний стан енергетичної системи України характеризується нестабільністю постачання енергоресурсів, зростанням вартості електричної та теплової енергії, а також необхідністю переходу аграрного сектору до сталого розвитку з урахуванням принципів енергоефективності та екологічної безпеки. Фермерські господарства, як важлива складова агропромислового комплексу, потребують надійних і економічно доцільних систем енергопостачання, здатних забезпечити безперервне функціонування технологічних процесів незалежно від зовнішніх енергетичних умов.

Традиційні системи енергопостачання фермерських підприємств базуються на централізованому електро- та тепlopостачанні, що робить їх залежними від державної енергомережі та цінової політики на паливно-енергетичні ресурси. Крім того, використання викопних видів палива призводить до зростання викидів вуглекислого газу та інших шкідливих речовин, що негативно впливає на екологічний стан довкілля. У зв'язку з цим особливої актуальності набуває застосування альтернативних джерел енергії та комбінованих систем її виробництва, які дозволяють підвищити енергетичну незалежність і зменшити витрати господарств.

Одним із найбільш перспективних напрямів розвитку локальних енергетичних систем у сільському господарстві є використання когенераційних технологій, які забезпечують одночасне виробництво електричної та теплової енергії в межах одного обладнання. Завдяки цьому досягається високий коефіцієнт корисного використання палива (до 85–90%), що значно перевищує показники традиційних енергетичних систем. Впровадження когенераційних установок у фермерських господарствах сприяє оптимізації енергетичних потоків, зменшенню витрат на паливо, стабільності роботи технологічних процесів та зниженню негативного впливу на навколишнє середовище.

Окрім енергетичної ефективності, важливим аспектом є економічна доцільність таких рішень. Когенераційні системи, особливо на природному газі, дозволяють суттєво скоротити експлуатаційні витрати, а надлишкову електроенергію можна використовувати для власних потреб або продавати в енергомережу. Це створює передумови для підвищення рентабельності фермерських підприємств та зменшення їхньої залежності від зовнішніх постачальників енергії.

Таким чином, розробка ефективної системи енергопостачання фермерського господарства з використанням когенераційних технологій є актуальним науковим і практичним завданням, спрямованим на підвищення енергетичної автономності, зниження собівартості продукції та покращення екологічних показників виробництва.

**Мета роботи** — розробити енергоефективну систему енергопостачання фермерського господарства з використанням когенераційної установки, яка забезпечить оптимальне поєднання теплової та електричної енергії для потреб виробництва.

**Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:**

1. Провести аналіз сучасного стану енергопостачання фермерських господарств України.
2. Охарактеризувати базове фермерське підприємство та його енергоспоживання.
3. Дослідити принципи роботи та класифікацію когенераційних систем, визначити їх переваги та сфери застосування.
4. Розробити тепловий баланс і розрахувати енергетичні потреби фермерського господарства.
5. Виконати техніко-економічне обґрунтування вибору когенераційної установки для забезпечення потреб підприємства.
6. Провести розрахунок основних показників енергоефективності та визначити термін окупності проекту.

**Об'єкт дослідження** — система енергопостачання фермерського господарства.

**Предмет дослідження** — методи підвищення енергоефективності фермерських господарств шляхом використання когенераційних технологій.

## РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ ФЕРМЕРСЬКИХ ГОСПОДАРСТВ І ХАРАКТЕРИСТИКА БАЗОВОГО ПІДПРИЄМСТВА

### 1.1. Фермерських господарств та їх енергоспоживання

Фермерські господарства є однією з найважливіших форм аграрного виробництва, яка забезпечує продовольчу безпеку держави та сприяє розвитку сільських територій. Згідно із Законом України «Про фермерське господарство», фермерське господарство є формою підприємницької діяльності громадян України, які виробляють сільськогосподарську продукцію, здійснюють її переробку та реалізацію з метою отримання прибутку. Основною відмінністю фермерських господарств від великих агропромислових комплексів є їхня гнучкість, менші масштаби виробництва, використання локальних ресурсів та більш тісний зв'язок з природним середовищем.

Україна активно залучена до глобальних економічних процесів, що зумовлює інтеграцію принципів енергозбереження у систему державного управління. Ці підходи відображені в основоположних стратегічних документах — Стратегії сталого розвитку України до 2030 року, Стратегії національної безпеки України (2020 р.), Стратегії енергетичної безпеки (2021 р.), Цифровій адженді України та інших актах загальнодержавного рівня. У межах визначених стратегічних орієнтирів сільськогосподарські підприємства впроваджують комплекс заходів, спрямованих на підвищення енергоефективності виробництва та досягнення національних цілей у сфері раціонального використання енергоресурсів.

Сучасні фермерські господарства характеризуються високим рівнем енергоспоживання, що зумовлено широким застосуванням енергомістких технологічних процесів. Енергетичні потреби господарств охоплюють як електричну енергію, необхідну для роботи технологічного обладнання, систем освітлення, насосних станцій і вентиляційних установок, так і теплову енергію,

яка використовується для опалення виробничих та побутових приміщень, підігріву води, сушіння продукції, підтримання мікроклімату у тваринницьких комплексах.

Електроенергія становить одну з основних складових витрат фермерських господарств, а залежність від вартості комунальних послуг робить це питання особливо актуальним. Водночас світові тенденції, спрямовані на підтримку та субсидування відновлюваних джерел енергії, спонукають аграрні підприємства активніше шукати шляхи скорочення витрат на паливо та впровадження енергозберігаючих технологій.

Структура енергоспоживання фермерських господарств значною мірою залежить від їх виробничої спеціалізації. Для тваринницьких ферм основними споживачами енергії є системи опалення та вентиляції, доїльне обладнання, механізми видалення гною, холодильні установки для зберігання молока, а також освітлювальні та побутові системи. У рослинницьких господарствах енергоспоживання зосереджене переважно на процесах сушіння зерна, зрошення, обробки та транспортування продукції. У господарствах змішаного типу спостерігається комплексне навантаження на енергетичну систему, що ускладнює балансування споживання та створює потребу у гнучких і надійних джерелах енергії.

Особливістю фермерських господарств є також сезонність енергоспоживання. У зимовий період різко зростають витрати теплової енергії на обігрів приміщень, тоді як у літній період збільшується споживання електроенергії для систем вентиляції, охолодження та переробки продукції. Така нерівномірність створює підвищене навантаження на енергетичну інфраструктуру та вимагає оптимізації систем енергопостачання з урахуванням добових і сезонних коливань споживання.

На сьогодні більшість фермерських господарств України підключені до централізованих систем електро- та теплопостачання або використовують дизельні генератори, твердопаливні котли та інші автономні джерела енергії. Однак значна частина таких систем має низьку енергоефективність, підвищені

експлуатаційні витрати та негативний вплив на довкілля. У зв'язку з цим дедалі актуальнішим стає впровадження альтернативних та комбінованих джерел енергії, серед яких важливе місце посідають когенераційні установки, здатні одночасно виробляти теплову й електричну енергію.

Застосування когенераційних технологій у фермерських господарствах дозволяє суттєво знизити питомі витрати палива, підвищити загальний коефіцієнт корисної дії систем енергопостачання, забезпечити стабільне енергопостачання об'єктів у сільській місцевості, де часто спостерігаються перебої з централізованими мережами. Крім того, використання біогазу, отриманого з відходів тваринництва, як палива для когенераційних установок, сприяє вирішенню екологічних проблем і створює передумови для формування енергонезалежного господарства замкненого циклу.

Таким чином, енергоспоживання фермерських господарств є багатокомпонентною системою, яка поєднує теплові, електричні та механічні навантаження. Раціональна організація енергопостачання на основі когенераційних технологій забезпечує підвищення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів, зниження собівартості продукції та покращення екологічних показників діяльності фермерського сектору.

## 1.2. Загальна характеристика базового фермерського господарства

Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і природокористування України — навчально-дослідне господарство «Велико-Снітинське ім. О.В. Музиченка» — розташоване у Фастівському районі Київської області, у селі Велика Снітинка. Земельні угіддя підприємства охоплюють території трьох населених пунктів: Велика Снітинка, Гвардійське та Мотовилівська Слобідка.

Організаційно-правова форма господарства — державне сільськогосподарське підприємство, засноване у 1972 році на базі колишнього радгоспу «Велико-Снітинський». Головною метою його діяльності є

забезпечення умов для проведення навчальної, виробничої та технологічної практики студентів, а також підвищення кваліфікації спеціалістів відповідно до навчальних планів і програм НУБіП України. Діяльність господарства здійснюється на основі ефективного та зразкового ведення сільського господарства з урахуванням сучасних технологічних вимог.

У розпорядженні НДГ «Велико-Снітинське» перебуває 2457 га посівних площ, з яких 38,3% займають зернові культури, 16,9% — технічні, а 44,8% — кормові. Така структура посівів забезпечує стабільну кормову базу для розвитку тваринницької галузі, що є однією з ключових у господарстві.

Основними структурними одиницями підприємства є виробничі цехи, у складі яких функціонують бригади та ланки, очолювані досвідченими фахівцями. Зокрема, у галузі рослинництва діють дві тракторно-польові бригади та овочева бригада. Цех тваринництва включає молочнотоварну ферму великої рогатої худоби на 700 голів, ферму з вирощування молодняка ВРХ та свиноферму на 2200 голів.

За кожним виробничим підрозділом закріплені кваліфіковані працівники та відповідні засоби виробництва. У складі постійних виробничих бригад діють ланки як механізованої, так і ручної праці. Окремо функціонує ланка працівників кормокухні, що забезпечує приготування та постачання кормів тваринництву.

Робочий день у господарстві триває в середньому 7 годин, у суботу — 6 годин, проте в пікові сезони польових робіт тривалість може збільшуватись до 10–12 годин.

Таким чином, НДГ «Велико-Снітинське ім. О.В. Музиченка» є сучасним навчально-виробничим комплексом, що поєднує освітню, науково-дослідну та господарську діяльність, виступаючи зразком ефективного управління аграрним підприємством у системі аграрної освіти України.

Наглядно організаційну структуру НДГ «Велико-Снітинське» проілюструємо на рисунку 1.1.

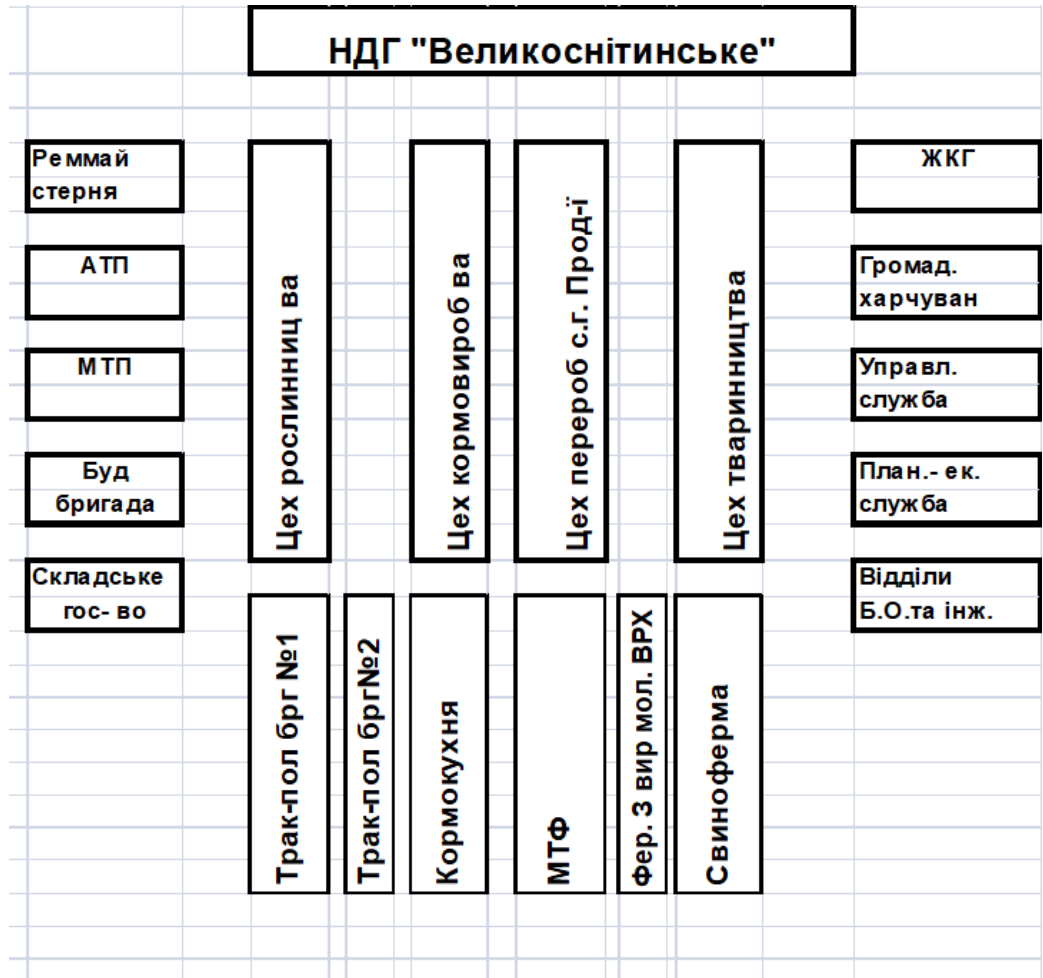


Рис. 1.1. Організаційна структура НДГ "Велико-Снітинське"

## РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ КОГЕНЕРАЦІЙНИХ СИСТЕМ

### 2.1. Види когенераційних систем

Існує значна кількість типів когенераційних установок (КУ), що застосовуються для одночасного виробництва електричної та теплової енергії. Серед них особливо поширеними є когенераційні установки з газовими турбінами. Такі системи функціонують на основі спалювання природного газу або газу, отриманого з відновлюваних джерел енергії. У процесі згоряння газу турбіна приводить у дію електрогенератор, унаслідок чого утворюється електрична енергія. Тепло, що виділяється під час цього процесу, використовується для забезпечення опалення будівель або інших потреб споживачів.

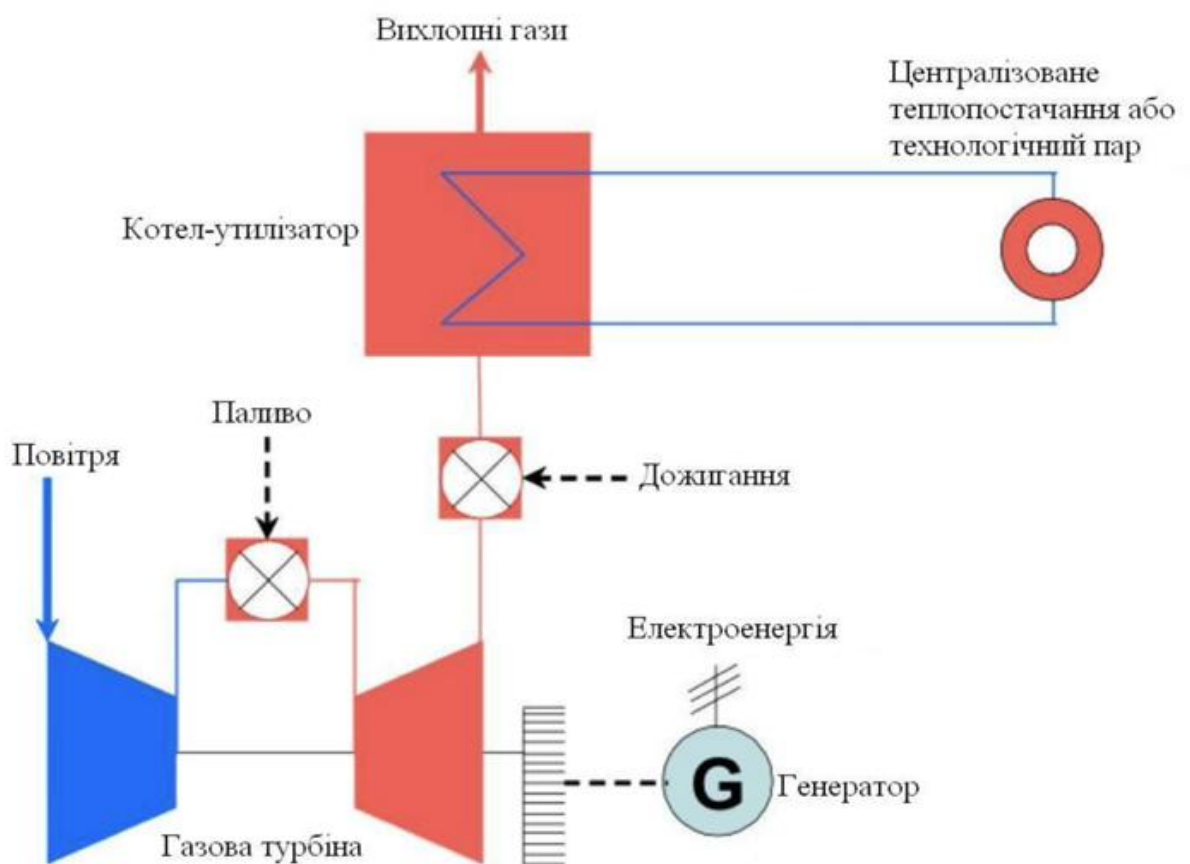


Рисунок 2.1. Схема КУ з газовою турбіною

Газотурбінні когенераційні установки переважно застосовуються у великих об'єктах, таких як лікарні, готелі та адміністративно-офісні будівлі, а також на промислових підприємствах. Такі системи характеризуються відносно високими показниками ефективності: електричний коефіцієнт корисної дії (ККД) може досягати 40%, а загальний тепловий ККД — близько 80%.

Когенераційні установки, що працюють на базі двигунів внутрішнього згоряння, використовують як паливо дизельне пальне або природний газ. Основними складовими таких систем є двигун, який обертає електрогенератор, та обладнання для утилізації тепла. У результаті роботи установки одночасно виробляються електрична енергія та теплова енергія, яка може бути використана для опалення будівель чи інших господарських потреб.

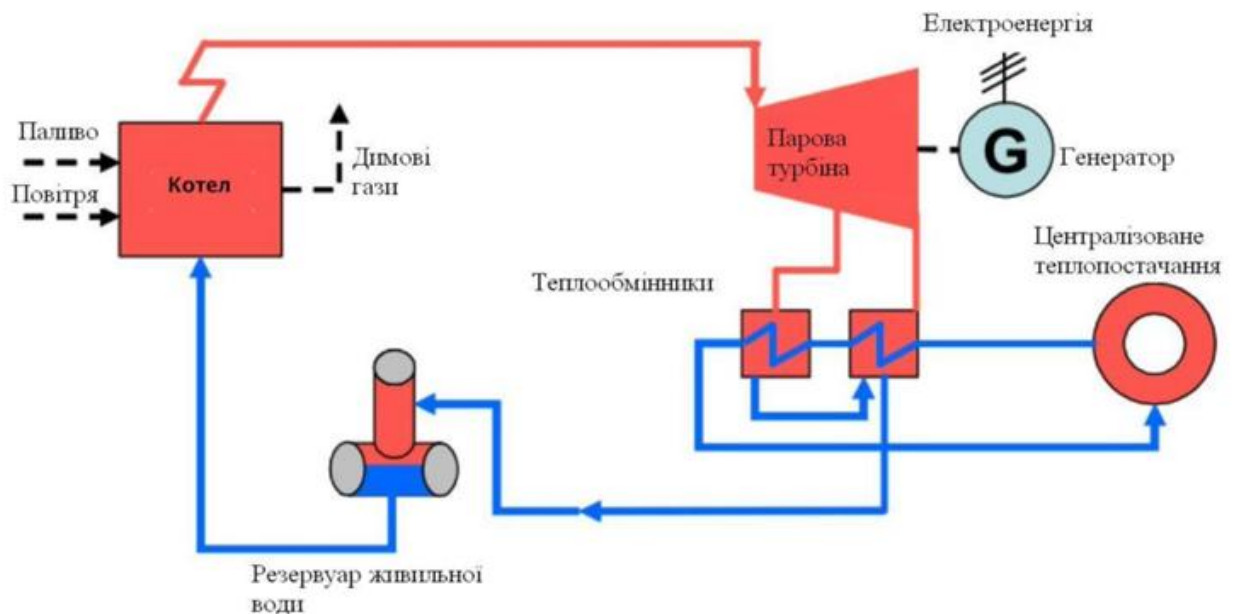


Рисунок 2.2. Схема КУ з двигуном внутрішнього згоряння

Когенераційні установки, що функціонують на базі двигунів внутрішнього згоряння, зазвичай застосовуються у будівлях середнього або малого розміру, на відміну від газотурбінних систем, які призначені для більших об'єктів. Водночас такі установки можуть ефективно використовуватися і в промисловому секторі. Ефективність когенераційних систем з двигунами внутрішнього згоряння є дещо нижчою порівняно з газотурбінними: електричний ККД сягає приблизно 30%, а тепловий — до 70%.

Когенераційні установки з турбовентилятором базуються на використанні природного газу як палива. Конструктивно система складається з двигуна, генератора та турбовентилятора, що працюють у взаємозв'язку. У процесі роботи установки виробляється електрична енергія, а отримане тепло спрямовується на опалення будівель або забезпечення інших теплотехнічних потреб.

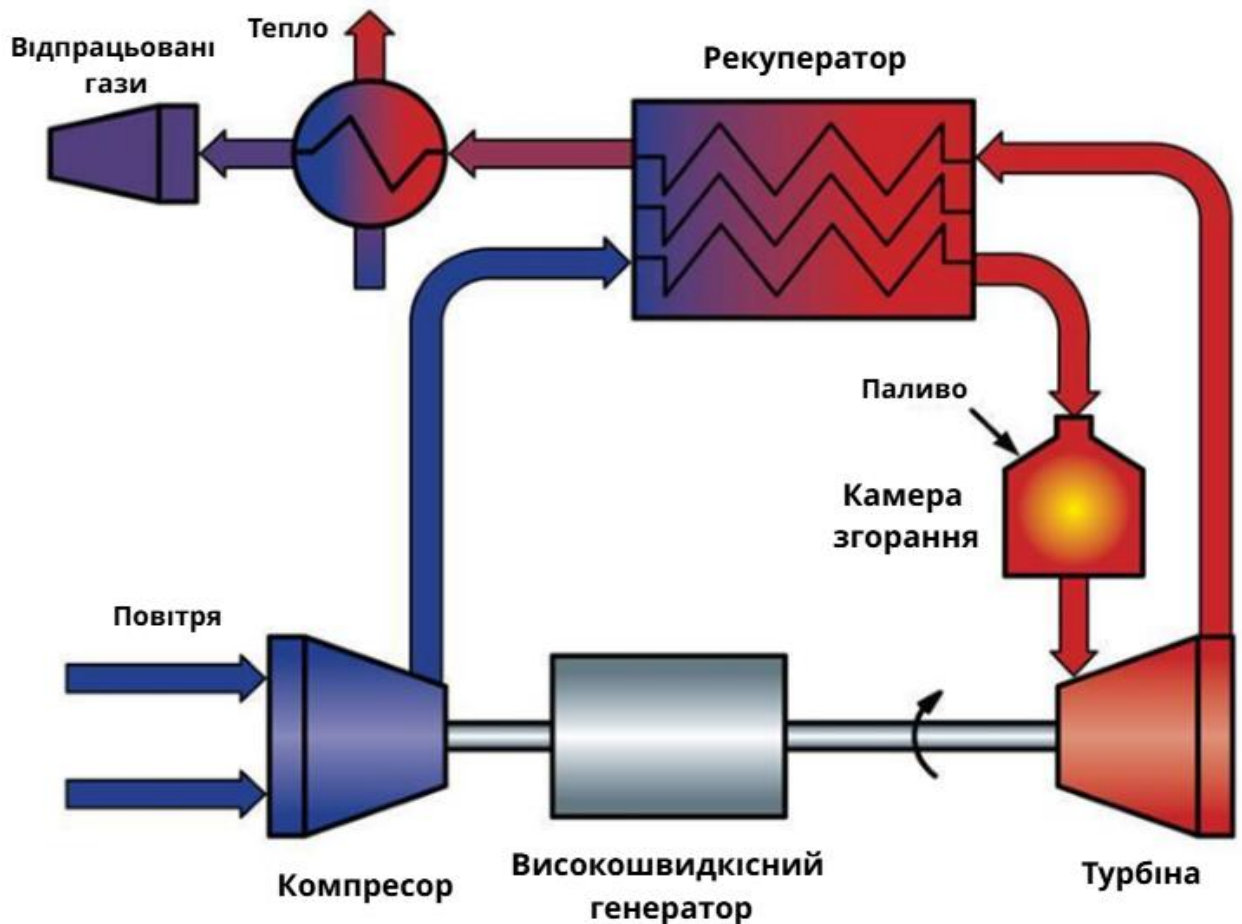


Рисунок 2.3. Схема КУ з турбовентилятором

Турбогенераційні установки зазвичай використовуються у великих будівлях, таких як лікарні, готелі та офісні будівлі. Вони також можуть використовуватися на промислових об'єктах. Турбовентиляторні когенераційні установки є відносно ефективними, з електричним ККД до 40% і тепловим ККД до 80%.

Когенераційна установка на паливних елементах. КУ на паливних елементах є однією з найефективніших когенераційних установок. Вона працює на водяній парі, що виробляється паливними елементами.

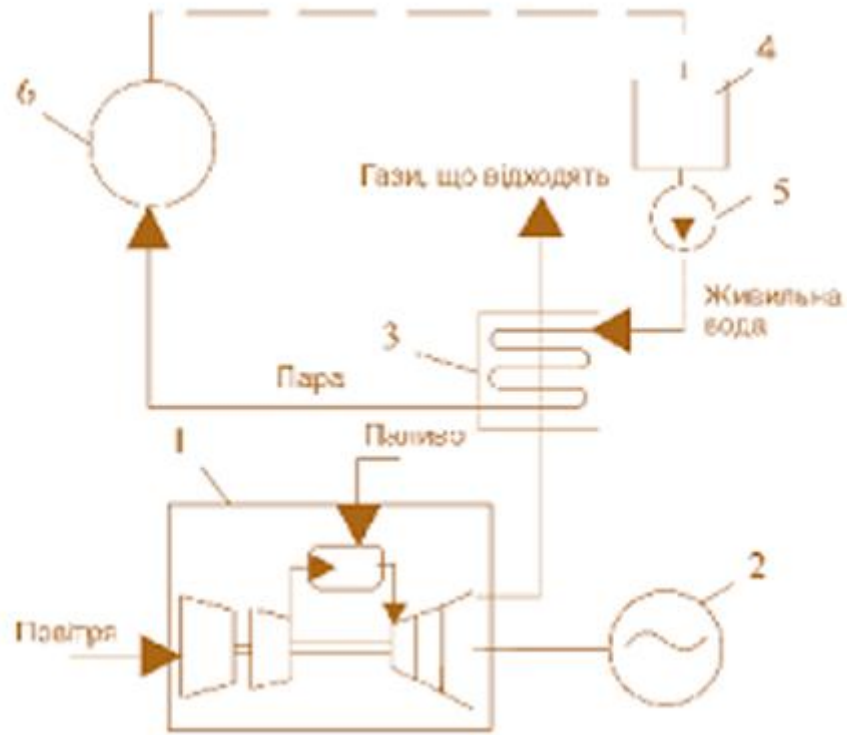


Рисунок 2.4. Схема КУ на паливних елементах

Когенераційні установки, що працюють на паливних елементах, зазвичай застосовуються для енергозабезпечення невеликих об'єктів, таких як житлові будинки або малі підприємства, проте можуть також використовуватися і в промислових умовах. Такі системи вирізняються високими показниками ефективності: електричний коефіцієнт корисної дії (ККД) може досягати 60%, а тепловий ККД — близько 80%.

## 2.2. Дослідження компонентів когенераційних установок

Газовий двигун є основним компонентом когенераційної установки, призначеним для перетворення хімічної енергії палива на механічну. У таких установках застосовується те саме паливо, що й у звичайних газових двигунах, проте їхня робота характеризується вищою паливною ефективністю. Це

зумовлено тим, що утворене під час роботи відпрацьоване тепло може бути повторно використане — зокрема, для опалення приміщень або виробництва пари, необхідної для технологічних процесів.

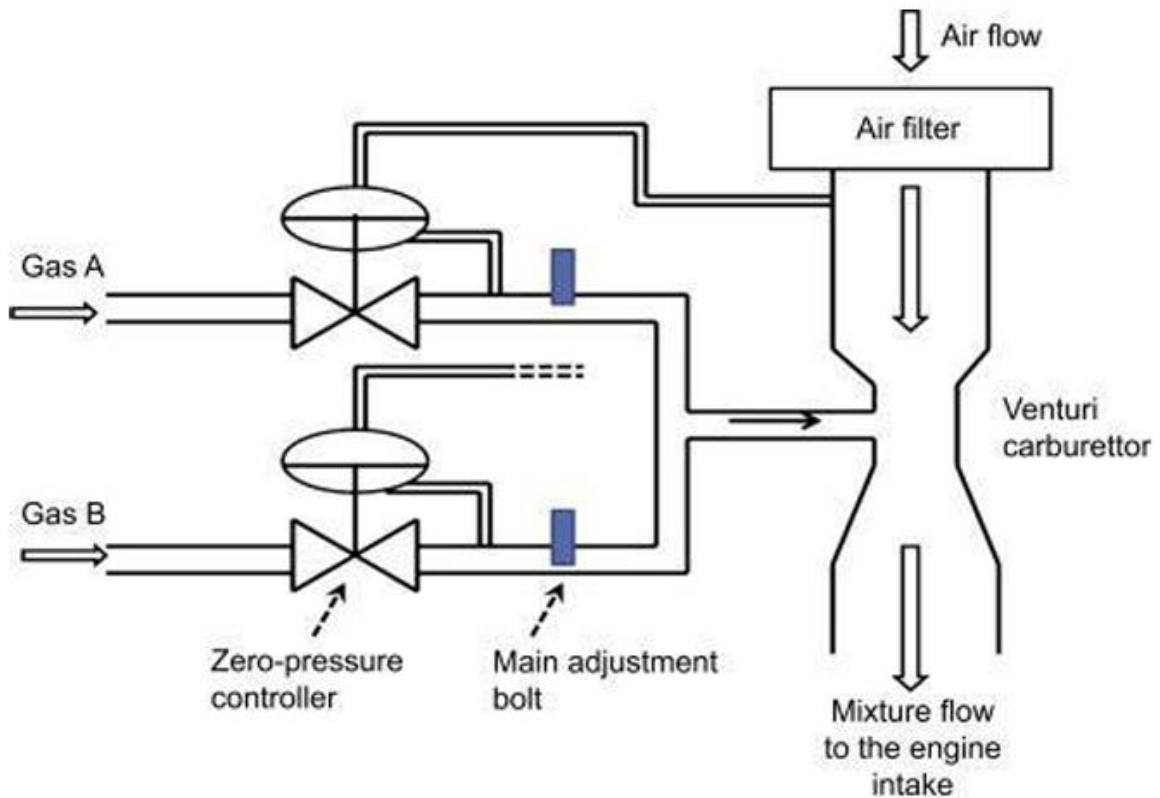


Рисунок 2.5. Схема газового двигуна

Генератор у складі когенераційної установки призначений для перетворення механічної енергії, виробленої газовим двигуном, в електричну енергію. Здебільшого такі генератори є синхронними і працюють на змінному струмі, що забезпечує стабільність електропостачання. Для підвищення ефективності використання теплової енергії, виробленої під час роботи двигуна, генератор може оснащуватися додатковими пристроями, такими як рекуператори тепла або системи підігріву води. Окрім цього, сучасні генератори когенераційних установок зазвичай обладнані захисними механізмами, що запобігають перевантаженням, коротким замиканням та іншим аварійним ситуаціям, забезпечуючи надійну та безпечну експлуатацію установки. Додатково варто зазначити, що інтеграція таких генераторів у комплексні

енергетичні системи дозволяє підвищити загальну енергоефективність об'єкта та зменшити витрати на енергопостачання.

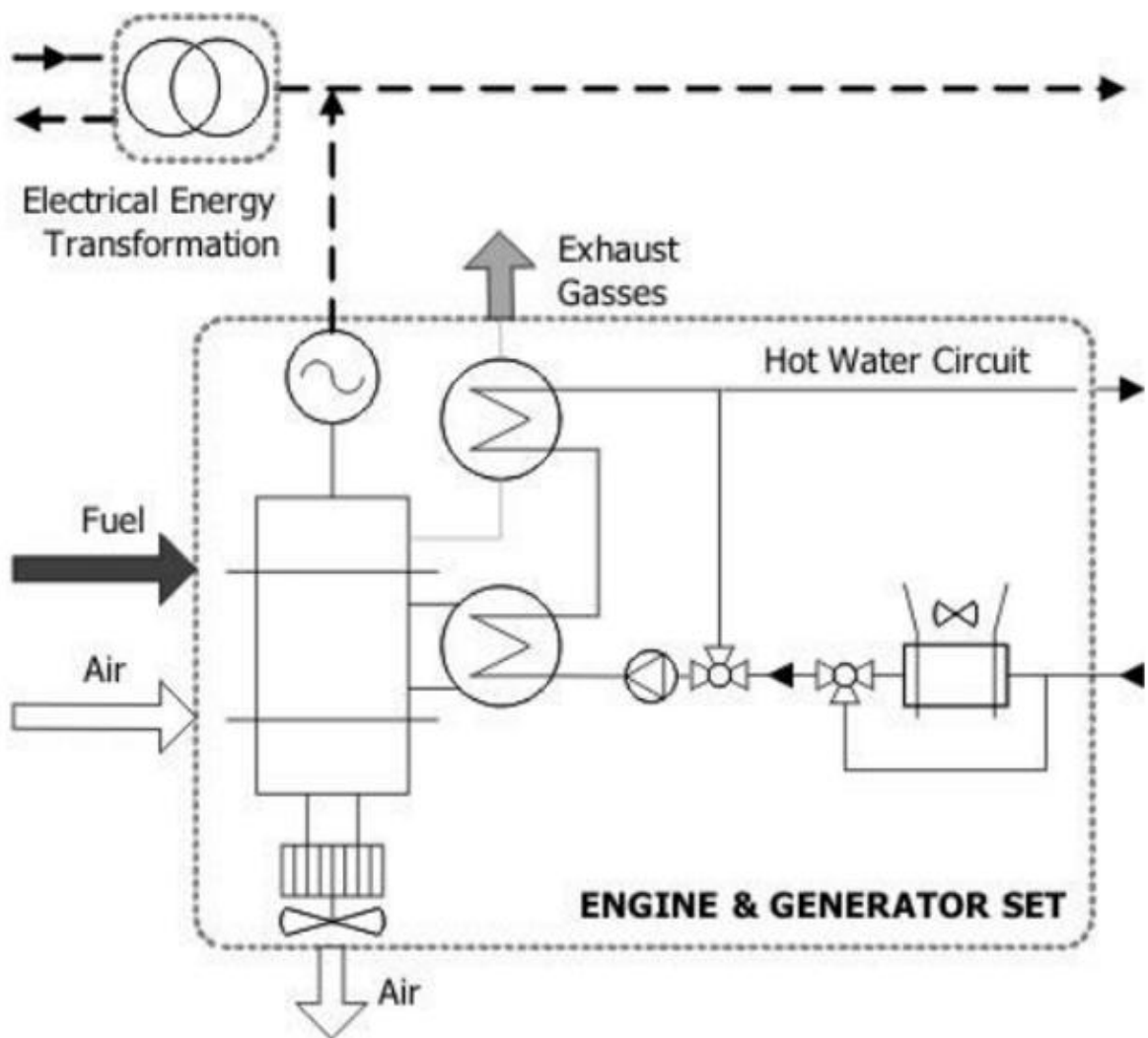


Рисунок 2.6. Схема роботи генератора в поєднанні з двигуном

Теплообмінник є ключовим компонентом когенераційної установки, який забезпечує передачу теплової енергії від двигуна до теплоносія, наприклад, води або пари. Тепло від газів, що виходять із двигуна, передається через теплообмінник у воду, яка циркулює в системі опалення та гарячого водопостачання. У результаті гаряча вода використовується для опалення приміщень, підігріву побутової води та інших технологічних процесів.

Теплообмінники когенераційних установок можуть мати різні конструктивні форми: трубчасті, пластинчасті або блочні, що дозволяє досягати високої ефективності теплообміну між газом та водою. Крім того, сучасні

теплообмінники можуть оснащуватися автоматизованими системами контролю, які підтримують оптимальні параметри температури та тиску теплоносія та газів, забезпечуючи максимально ефективну роботу установки та її тривалий термін служби. Додатково, правильне проектування та інтеграція теплообмінників сприяють зниженню енергетичних втрат та підвищенню загальної енергоефективності системи.

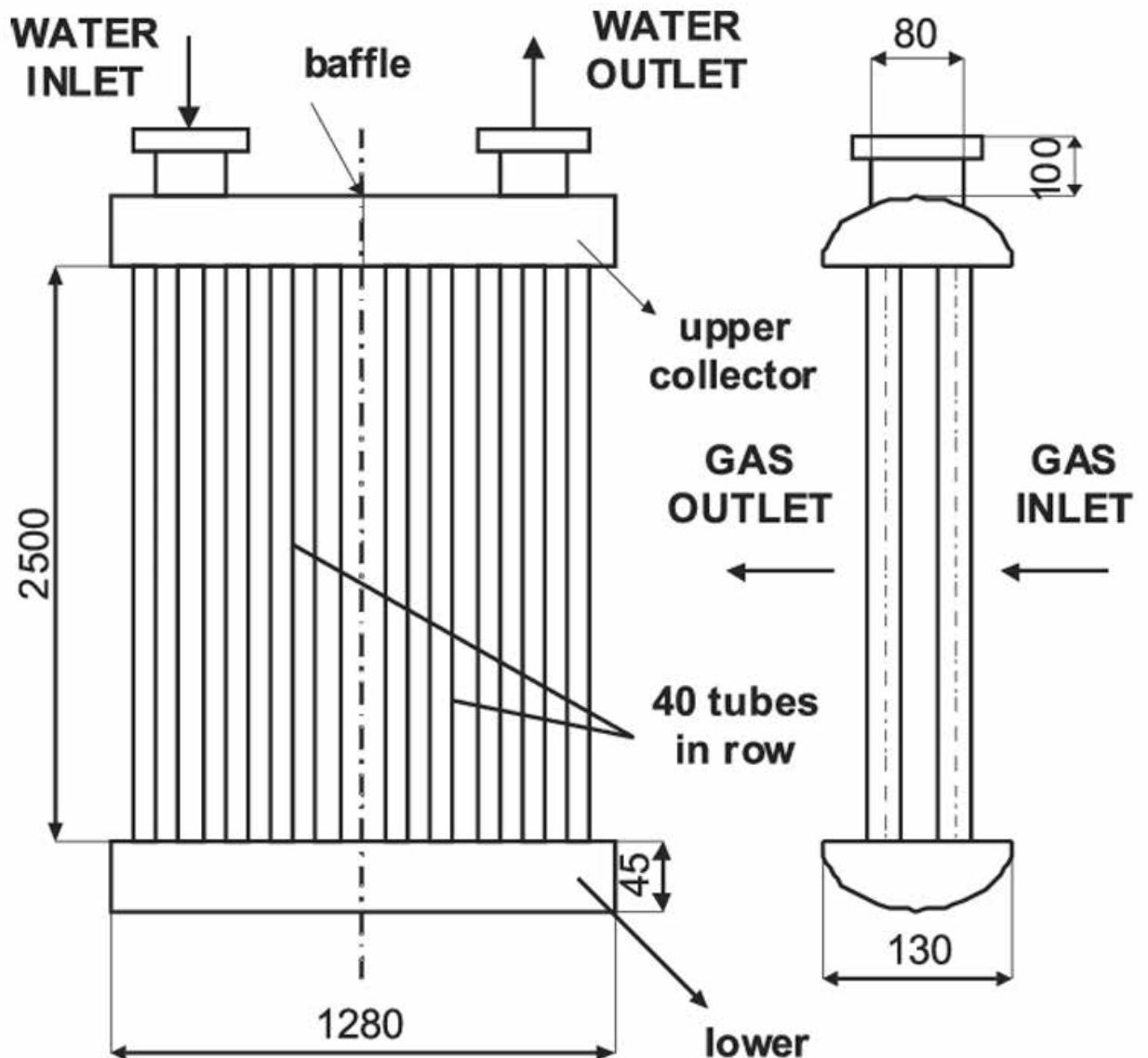


Рисунок 2.7. Теплообмінник

Система подачі газу включає газопровід, фільтри, редуктор тиску та запобіжний вимикач і призначена для забезпечення безпечного та ефективного функціонування когенераційної установки. Вона виконує такі основні функції:

підготовку газу, його компресію, транспортування до двигуна, а також контроль і регулювання параметрів газу для стабільної роботи системи.

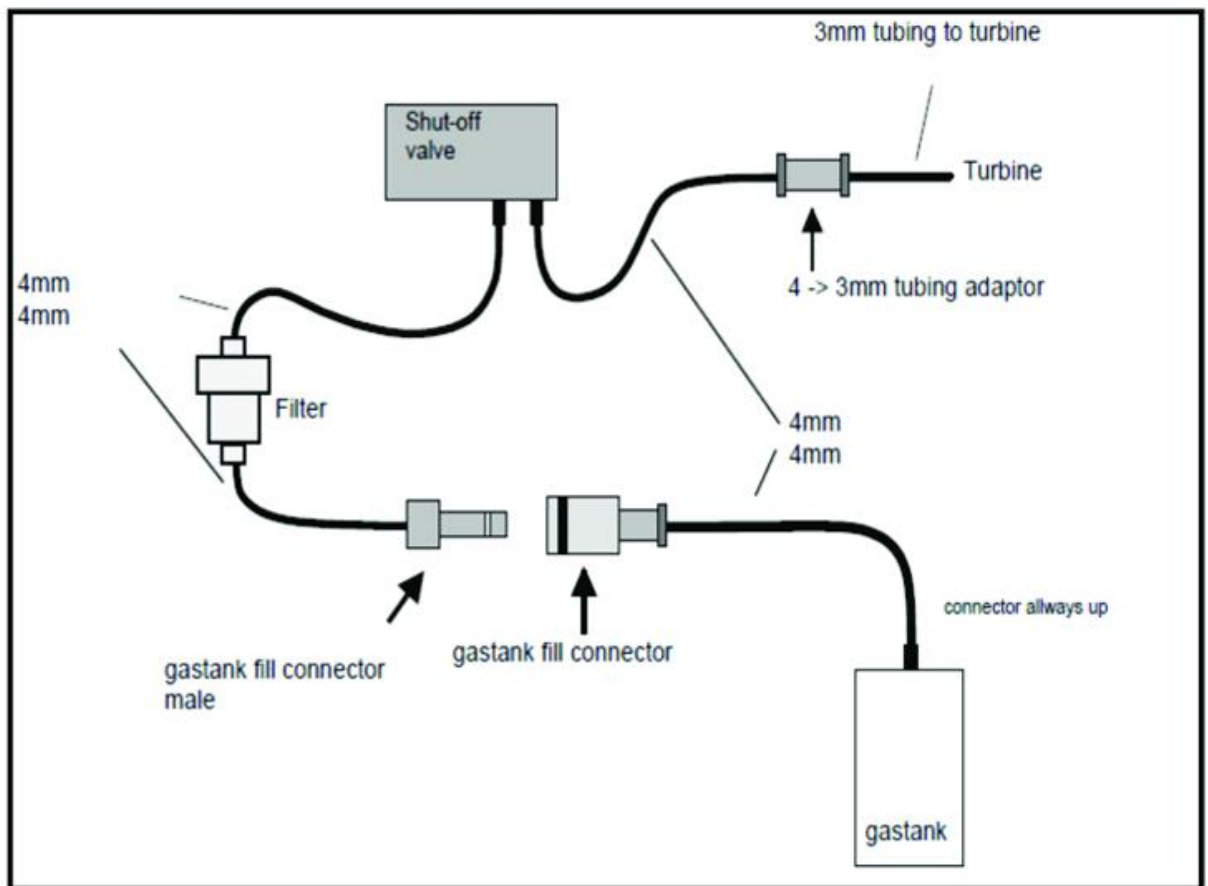


Рисунок 2.8. Схема системи припливу газу

Система охолодження призначена для підтримання оптимальної температури двигуна, що забезпечує його ефективну та безпечну роботу. Тип охолоджувальної системи залежить від конструкції когенераційної установки. Зокрема, для двигунів внутрішнього згоряння можуть застосовуватися різні види охолодження: повітряне, водяне, глікольно-водяне або з використанням органічних теплоносіїв.

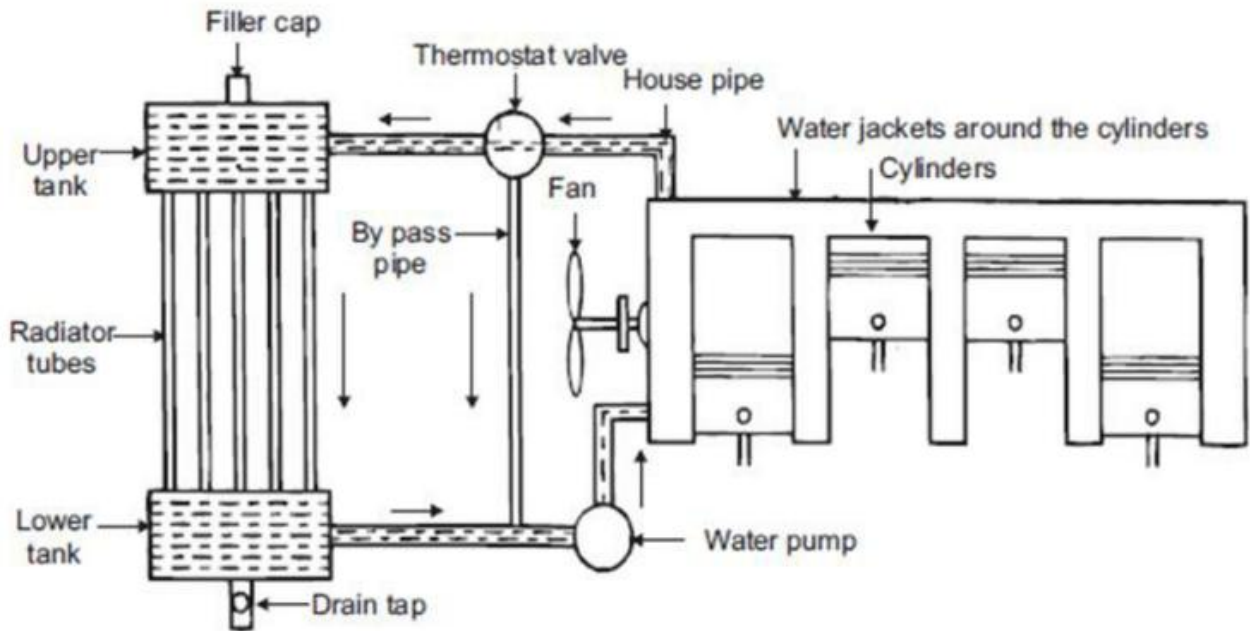


Рисунок 2.9. Схема системи охолодження

Система керування когенераційною установкою відповідає за регулювання режимів роботи, моніторинг параметрів та діагностику несправностей. Вона включає різноманітні компоненти, такі як датчики, контролери, виконавчі пристрої та програмне забезпечення. Датчики фіксують ключові параметри роботи, зокрема температуру, тиск, рівень палива, електричну напругу та інші показники. Контролери обробляють отримані дані і приймають рішення щодо керування роботою установки, забезпечуючи її ефективність і безпеку.

Система вихлопу призначена для зниження шкідливих викидів та рівня шуму, що утворюється двигуном. Вона включає каталітичний конвертер, гнучкі труби, вихлопні колектори, глушники та системи рециркуляції вихлопних газів. Гнучкі труби забезпечують надійне з'єднання між двигуном і вихлопним колектором, дозволяючи адаптувати систему до різних геометричних конфігурацій установки.

Система резервного живлення може бути інтегрована для автоматичного запуску когенераційної установки у разі відключення зовнішнього електропостачання, забезпечуючи безперервну роботу об'єкта.

## РОЗДІЛ 3. ТЕПЛОВИЙ АНАЛІЗ І РОЗРАХУНОК ЕНЕРГОПОТРЕБ ФЕРМЕРСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

### 3.1. Споживачі теплоти

Для проведення теплового аналізу визначено основні споживачі теплоти у ВП НУБІП України НДГ "Велико-Снітинське ім. О.В. Музиченка", серед яких виділяються такі об'єкти

Таблиця 3.1

Споживачі теплоти ВП НУБІП України НДГ "Велико-Снітинське ім. О.В.  
Музиченка"

Споживач	F, м <sup>2</sup>	h, м	V, м <sup>3</sup>	Кіл. пов.	Кіл. буд.
Житлові будинки	200	3	1200	2	3
Приміщення їдальні	300	3	1800	2	1
Дитячий садочок	420	3	2520	2	1
Школа	500	3	4500	3	1
Ремонтна майстерня МТП	1200	3	3600	1	1
Слюсарні відділення автогаража	100	4	400	1	1
Контора(адмінприміщення)	500	3	4100	2	1
Гуртожиток	450	3	3800	2	1

Тваринницький комплекс включає свинарник для відгодівлі, розрахований на 2200 голів свиней середньою вагою 200 кг, та молочне стадо великої рогатої худоби чисельністю 700 голів.

Для забезпечення обігріву приміщень визначаються витрати теплової енергії на основі питомих теплових характеристик об'єктів, зокрема:

- на опалення;
- на вентиляцію;

- на гаряче водопостачання.

### 3.2. Розрахунок теплової потужності систем опалення і вентиляції

Теплові потужності систем опалення житлових будинків, приміщень їдальні, складського господарства та машинно-тракторного парку розраховуються за формулою:

$$Q_o = K \cdot \sum_{i=1}^n q_i \cdot F_i \cdot 10^{-3} \quad (3.1.)$$

де:  $q_i$  – питоме теплове навантаження, Вт/м<sup>2</sup>, ке встановлюється з урахуванням кліматичного показника  $S=3673$  град. діб, а також коригується в залежності від призначення та місця розташування приміщення в будівлі.;

$F_i$  – площа поверху, м<sup>2</sup>;

$K$  – поправочний коефіцієнт, який застосовується через використання цегли як матеріалу зовнішніх стін, і становить 1,15.

Житлові будинки:

$$Q_o = 1,15 \cdot (79 \cdot 200 + 72 \cdot 200) \cdot 10^{-3} = 34,73 \text{ кВт}; \quad (3.2.)$$

У зв'язку з тим, що мені належать три будинки, то

$$Q_o = 3 \cdot 34,73 = 104,2 \text{ кВт}; \quad (3.3.)$$

Приміщення їдальні:

$$Q_o = 1,15 \cdot (79 \cdot 300 + 72 \cdot 300) \cdot 10^{-3} = 50,72 \text{ кВт}; \quad (3.4.)$$

Дитячий садочок:

$$Q_o = 1,15 \cdot (79 \cdot 420 + 75 \cdot 420) \cdot 10^{-3} = 74,4 \text{ кВт}; \quad (3.5.)$$

Школа:

$$Q_o = 1,15 \cdot (58 \cdot 500 + 50 \cdot 500 + 44 \cdot 500) \cdot 10^{-3} = 87,4 \text{ кВт}; \quad (3.6.)$$

Контора (адмінприміщення):

$$Q_o = 1,15 \cdot (58 \cdot 500 + 50 \cdot 500) \cdot 10^{-3} = 62,1 \text{ кВт}; \quad (3.7.)$$

Гуртожиток:

$$Q_o = 1,15 \cdot (58 \cdot 450 + 50 \cdot 450) \cdot 10^{-3} = 55,9 \text{ кВт}; \quad (3.8.)$$

Для розрахунку необхідної теплової потужності систем опалення та вентиляції ремонтної майстерні й господарського цеху використовуємо таку формулу:

○ опалення

$$Q_o = q_o \cdot V_{\text{прим}} \cdot (t_{\text{вн}} - t_3^o) \cdot 10^{-3}; \quad (3.9.)$$

○ вентиляція

$$Q_B = q_B \cdot V_{\text{прим}} \cdot (t_{\text{вн}} - t_3^B) \cdot 10^{-3}; \quad (3.10.)$$

де  $q_o$  – укрупнена питома характеристика, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$V_{\text{прим}}$  – об'єм приміщення в будівельних межах, м<sup>3</sup>;

$t_{\text{вн}}$ ,  $t_3^o$  – задані значення температур для внутрішнього та зовнішнього середовища, °С (для розрахунку опалення, що базується на середній температурі

січня для конкретного регіону  $t_3^o = -23^\circ C$ ; для розрахунку системи вентиляції, що базується на середній зовнішній температурі січня для цієї місцевості  $t_3^B = -10^\circ C$ ).

Ремонтна майстерня МТП:

$$Q_o = 0,64 \cdot 3600 \cdot (18 + 23) \cdot 10^{-3} = 94,5 \text{ кВт}; \quad (3.11.)$$

$$Q_o = 0,58 \cdot 3600 \cdot (18 + 10) \cdot 10^{-3} = 58,5 \text{ кВт}; \quad (3.12.)$$

Слюсарний цех автогаража:

$$Q_o = 0,52 \cdot 400 \cdot (18 + 23) \cdot 10^{-3} = 8,5 \text{ кВт}; \quad (3.13.)$$

$$Q_o = 0,29 \cdot 400 \cdot (18 + 10) \cdot 10^{-3} = 3,3 \text{ кВт}; \quad (3.14.)$$

Для розрахунку необхідної теплової потужності систем опалення та вентиляції тваринницького комплексу використовуємо наступну формулу:

$$Q_{\text{ТВ.П}}^{o.B} = q_w \cdot V_{\text{прим}} \cdot (t_{\text{вн}} - t_3^o) \cdot 10^{-3}; \quad (3.15.)$$

де:  $q_w$  – комплексні характеристики систем опалення та вентиляції Вт/(м<sup>3</sup>·К);

$V_{\text{прим}}$  – об'єм приміщення для 2900 голів, м<sup>3</sup>;

$$Q_{\text{ТВ.П}}^{o.B} = 1 \cdot 14500 \cdot (18 + 23) \cdot 10^{-3} = 594,5 \text{ кВт} \quad (3.16.)$$

Отже, сумарна теплова потужність, необхідна для систем опалення та вентиляції, становить 1228,75 кВт.

### 3.3. Розрахунок теплової потужності системи гарячого водопостачання

Формула використовується для визначення необхідної теплової потужності системи теплопостачання:

$$Q_{\text{Г.В.П}} = \beta \frac{m \cdot a \cdot (t_{\text{Г.В.}} - t_{\text{Х.В.}}) \cdot C_w}{24 \cdot 3600} \cdot 10^{-3} \quad (3.17.)$$

де:  $m$  – проєктна кількість водокористувачів;

$a$  – норма водоспоживання на одну особу, л/добу;

$t_{\text{Х.В.}}$  – температура холодної води, °С;

$t_{\text{Г.В.}}$  – температура гарячої води, °С;

$C_w$  – теплопровідність води (4187 Дж/кг·К);

$\beta$  – коефіцієнт нерівномірності витрати води.

Житлові будинки:

$$Q_{\text{Г.В.П}} = 1,2 \frac{40 \cdot 120 \cdot (55 - 10) \cdot 4187}{24 \cdot 3600} \cdot 10^{-3} = 12,6 \text{ кВт}; \quad (3.18.)$$

У зв'язку з тим, що мені належать три будинки, то  $Q_{\text{Г.В.П}} = 37,8 \text{ кВт};$

Приміщення їдальні:

$$Q_{\text{Г.В.П}} = 1,2 \frac{40 \cdot 75 \cdot (55 - 10) \cdot 4187}{24 \cdot 3600} \cdot 10^{-3} = 7,9 \text{ кВт}; \quad (3.19.)$$

Дитячий садочок:

$$Q_{\text{Г.В.П}} = 1,2 \frac{50 \cdot 30 \cdot (55 - 10) \cdot 4187}{24 \cdot 3600} \cdot 10^{-3} = 3,9 \text{ кВт}; \quad (3.20.)$$

Школа:

$$Q_{\text{Г.В.П}} = 1,2 \frac{150 \cdot 30 \cdot (55 - 10) \cdot 4187}{24 \cdot 3600} \cdot 10^{-3} = 11,8 \text{ кВт}; \quad (3.21.)$$

Ремонтна майстерня МТП:

$$Q_{\text{Г.В.П}} = 1,2 \frac{20 \cdot 24 \cdot (55-10) \cdot 4187}{24 \cdot 3600} \cdot 10^{-3} = 1,3 \text{ кВт}; \quad (3.22.)$$

Слюсарний цех автогаража:

$$Q_{\text{Г.В.П}} = 1,2 \frac{10 \cdot 11 \cdot (55-10) \cdot 4187}{24 \cdot 3600} \cdot 10^{-3} = 0,3 \text{ кВт}; \quad (3.23.)$$

Контора(адмінприміщення):

$$Q_{\text{Г.В.П}} = 1,2 \frac{40 \cdot 25 \cdot (55-10) \cdot 4187}{24 \cdot 3600} \cdot 10^{-3} = 2,6 \text{ кВт}; \quad (3.24.)$$

Гуртожиток:

$$Q_{\text{Г.В.П}} = 1,2 \frac{50 \cdot 35 \cdot (55-10) \cdot 4187}{24 \cdot 3600} \cdot 10^{-3} = 4,6 \text{ кВт}; \quad (3.25.)$$

Тваринницький комплекс:

$$Q_{\text{Г.В.П}} = 2,4 \frac{2200 \cdot 4,5 \cdot (55-10) \cdot 4187}{24 \cdot 3600} \cdot 10^{-3} = 51,8 \text{ кВт}; \quad (3.26.)$$

Теплове навантаження на гаряче водопостачання було розраховано і дорівнює 122 кВт.

Відповідно, повна теплова потужність, необхідна для функціонування систем опалення та гарячого водопостачання комунально-побутових об'єктів НДГ "Велико-снітинське ім. О.В. Музиченка" (ВП НУБІП України), становить 1350,75 кВт або близько 1,4 МВт.

## РОЗДІЛ 4. ВИБІР ТА РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

### 4.1. Вибір основного технологічного обладнання

#### 4.1.1. Вибір системи для видалення гною

Прибирання гною є трудомістким процесом, що займає значну частину виробничого циклу на фермах і в тваринницьких комплексах. Тому важливим завданням є впровадження пристроїв, які забезпечують автоматичне керування системами збору гною в тваринницьких приміщеннях.

Серед існуючих рішень застосовуються, зокрема, гідравлічні системи збору гною. У таких системах гній спочатку надходить у гнойоприйомний канал, потім переміщується в магістральний канал для самопливного транспортування до збірного резервуара, після чого за допомогою насосів перекачується до місця зберігання.

На тваринницьких фермах найбільшого поширення набули скребкові транспортери кругового руху. Вони переміщують гній по спеціальних каналах за допомогою скребків, прикріплених до ланцюга, і подають його у транспортні засоби. Для нашої ферми обрано саме цю систему, оскільки вона відзначається простотою та зручністю в експлуатації, не потребує значних витрат на монтаж, має прийнятне споживання електроенергії та зарекомендувала себе як надійна й ефективна.

Для прибирання гною на фермі передбачено використання двох вертикальних і двох горизонтальних гноєзбиральних транспортерів кругового руху ТСН–160, кожен з яких здатен обслуговувати до 100 голів великої рогатої худоби.

Таблиця 4.1

Технічні дані ТСН – 160

Продуктивність, т/год	5
Швидкість руху скребків, м/год	0,18

Продовження таблиці 4.1

Крок скребків, мм	920
Максимально допустима довжина ланцюгу, м	160
Маса, кг	1825

#### 4.1.2. Вибір обладнання для доїння корів

Доїння корів є одним із найбільш трудомістких процесів на фермі. Використання машинного доїння значно полегшує працю людей та підвищує продуктивність праці. Залежно від системи утримання тварин та застосованого обладнання, витрати праці можна зменшити у 2–5 разів порівняно з ручним доїнням, що суттєво скорочує потребу в робочій силі.

Існують два основні способи машинного доїння: вакуумне відсмоктування та механічне вижимання. Механічний метод, що імітує ручне доїння, розроблений недостатньо ефективно і практично не застосовується. При вакуумному доїнні молоко відсмоктується з вимені корови за допомогою вакууму, після чого надходить у доїльну ємність, проходить фільтрацію, охолодження та перекачується в резервуар для зберігання.

Для ферми обрано вакуумний спосіб доїння через його високу автоматизацію та значні переваги порівняно з механічним вижиманням. Для обслуговування 200 корів планується використовувати установку вакуумного доїння УДА–16.

Таблиця 4.2

Технічні дані УДА – 16

Кількість поголів'я, голів	600
Число операторів	4
Пропускна можливість, кор./год	120
Встановлено потужність, кВт	20,1
Маса установка, кг	2200

Технологічний процес роботи установки здійснюється у такій послідовності: запуск установки, підготовка тварин до доїння, підключення доїльних апаратів та їх установка на вим'я, виконання процесу доїння, відключення апаратів після завершення машинного доїння та переміщення їх до наступного робочого місця. Отримане молоко по молокопроводу надходить у молочну, де воно проходить фільтрацію, охолодження та перекачування у резервуар для зберігання. Оскільки в комплект поставки не входять холодильна машина та охолоджувальний резервуар, їх необхідно придбати окремо.

Загальний час роботи вакуумних насосів під час доїння складає:

$$T_{\text{д}} = \frac{0,88N}{Q \cdot n} + \Delta t = \frac{0,88 \cdot 200}{30 \cdot 4} + 0,4 = 1,87 \text{ год} \quad (4.1.)$$

де,  $N$  - кількість корів (  $0,88 N$  число дійних корів);

$Q$  - показник ефективності роботи оператора машинного доїння ( $Q = 25$ );

$n$  – кількість операторів ( $n = 4$ );

$\Delta t = 0,3 \dots 0,4$  год - загальний час, необхідний для промивання молокопроводу.

#### 4.1.3. Вибір холодильної установки

Охолодження — це найбільш ефективний метод для збереження якості та подовження терміну придатності сільськогосподарської продукції. Зниження температури значно уповільнює небажані біохімічні та мікробіологічні процеси, тим самим гарантуючи стабільність властивостей продукту під час зберігання. Холодильні установки є стандартним обладнанням на молочних фермах, а також у сховищах овочів, картоплі та фруктів.

Системи охолодження функціонують на основі термодинамічного принципу перенесення теплоти: тепло відбирається від холоднішого середовища і передається до навколишнього. Цей же принцип можна застосовувати і для нагріву матеріалів. Пристрої, які здійснюють цей перенос тепла від холодної

зони до гарячої, називаються трансформаторами теплоти. Вони унікальні тим, що можуть одночасно забезпечувати охолодження одного середовища та нагрівання іншого.

Для забезпечення надійного та стабільного охолодження молока в танках охолоджувачах типу ТО-2 доцільно застосовувати сучасну енергоефективну холодильну установку DeLaval DX 1200, яка є оптимальним рішенням для середніх і великих молочних ферм.

Холодильна установка DeLaval DX 1200 призначена для виробництва штучного холоду, який використовується для безпосереднього охолодження молока в танках. Система оснащена герметичним компресорно-конденсаторним агрегатом, що забезпечує високу продуктивність при зниженому енергоспоживанні. Використання екологічно безпечних холодоагентів (R404A або R452A) дозволяє установці відповідати сучасним вимогам енергоефективності та екологічної безпеки.

Установка оснащена повністю автоматизованою системою керування, яка підтримує стабільну температуру охолоджувальної рідини. Висока ефективність теплообміну забезпечується завдяки застосуванню пластинчастого конденсатора з примусовим повітряним охолодженням. Корпус агрегату виконаний з антикорозійних матеріалів, що гарантує тривалий термін служби навіть у складних умовах тваринницьких приміщень.

Холодильна установка DeLaval DX 1200 сумісна з доїльними системами DeLaval та іншими молочними установками, забезпечуючи швидке охолодження молока до нормативної температури 4 °C у мінімальні строки. Це є надзвичайно важливим для збереження високої якості молока та запобігання розвитку мікрофлори.

Таблиця 4.3

## Технічні характеристики холодильної установки DeLaval DX 1200

Показник	Значення
Продуктивність охолодження	11,5 кВт

Продовження таблиці 4.3

Тип холодоагенту	R404A / R452A
Потужність компресора	3,5 кВт
Тип компресора	Герметичний спіральний
Конденсатор	Повітряного охолодження
Робочий тиск	до 25 бар
Маса холодоагенту	4,2 кг
Температура охолоджувальної рідини	0 ... +4 °С
Габаритні розміри	1080 × 660 × 880 мм
Маса	90 кг

#### 4.2. Розрахунок освітлювальних установок

Світло є одним із ключових параметрів мікроклімату, оскільки рівень освітленості та коефіцієнт пульсацій світлового потоку безпосередньо впливають на продуктивність та здоров'я персоналу.

Ферма включає два тваринницькі комплекси та розташований між ними молочний блок.

Нижче наведено розрахунок освітлювальних установок для тваринницького комплексу.

Таблиця 4.4

#### Характеристика приміщення

Назва приміщення	Площа, м <sup>2</sup>	Довжина, м	Ширина, м	Висота, м	Середовище
Стійлове приміщення	1500	75	20	3,22	волого
Площадка для ваги	9,9	3.3	3	3,22	волого
Вентилиаційна камера	14,4	4,8	3	3,22	сухо

## Продовження таблиці 4.4

Приміщення для підстилки	9,9	3,3	3	3,22	волого
Ел. щитова	9,9	3,3	3	3.22	сухо
Підсобка	9,9	3,3	3	3.22	сухо
Тамбур	12,6	4,2	3	3.22	волого

Розрахунок потужності освітлювальної установки для майданчика перед входом.

Відповідно до вимог СНіП обирається чергове, загальне та рівномірне освітлення з нормованим рівнем освітленості  $E_n = 2$  лк.

Оскільки майданчик перед входом, відповідно до ПУЕ, відноситься до вологих приміщень, обирається ступінь захисту світильника IP 53. Для таких умов використовується світильник типу НСП03.

Розраховуємо проектну висоту розміщення освітлювального обладнання:

$$H_p = H - H_c - H_{p.п} = 3 - 0,2 = 2,8 \text{ м.} \quad (4.2.)$$

де ,  $H$  - висота підвісу світильника;

$H_c$  - висота звису підвісного світильника;

$H_{p.п}$  - висота робочої поверхні.

Розрахунок виконується точковим методом, оскільки простір є відкритим. Таким чином, відстань від точки проєкції світильника до контрольної точки:

$$P = \sqrt{(a/2)^2 + y^2} = \sqrt{(3/2)^2 + 2^2} = 2,5 \text{ м} \quad (4.3.)$$

де ,  $a$  - довжина площадки;

$y$  - ширина площадки.

Дистанція від світильника до місця вимірювання освітленості:

$$d_a = \sqrt{H_p^2 + P^2} = \sqrt{2,8^2 + 2,5^2} = 3,7 \text{ м} \quad (4.4.)$$

Кут, під яким контрольна точка спостерігається з освітлювального приладу:

$$\alpha = \frac{\text{arctg}P}{H_p} = \frac{\text{arctg}2,5}{2,8} = 39 \quad (4.5.)$$

Освітленість, отримана в контрольній точці згідно з умовою розрахунку:

$$l_a = I_a \cdot \frac{\cos^3 \alpha}{H_p^2} = 7,5 \text{ лк} \quad (4.6.)$$

де,  $I_a$  - світловий потік в зональному кутку КСС «М» який нормалізовано до 1000А.

Загальна кількість світла, випромінювана світильником:

$$\Phi_c = \frac{1000 \cdot E_n \cdot K_3}{l_a \cdot \mu \cdot \eta_c} = \frac{1000 \cdot 2 \cdot 1,3}{7,5 \cdot 1 \cdot 0,85} = 408 \text{ лм} \quad (4.7.)$$

де,  $E_n$  - норма освітленості;

$K_3$  - коефіцієнт запасу;

$\mu$  - коефіцієнт врахування додаткового освітлення від інших світильників.

Оскільки віддалені світильники відсутні, приймаємо  $\mu = 1$ ;

1000 - умовно прийняте значення світлового потоку для лампи;

$\eta_c$  - ККД світильника ( $\eta_c = 0,85$ ).

Базуючись на розрахунковому світловому потоці, ми обрали лампу типу Б220-40 з фактичним світловим потоком  $\Phi_k = 400$  лм.

Відхилення світлового потоку лампи.

$$\Delta\Phi = \frac{\Phi_k - \Phi_c}{\Phi_c} = \frac{400 - 408}{408} \cdot 100\% = -0,2\% \quad (4.8.)$$

Відхилення каталожного світлового потоку від розрахункового повинно знаходитися в межах від -10 % до +20 %. Обрана лампа відповідає цій умові, тому остаточно приймаємо світильник НСП03–60 з лампою Б220–40.

Розрахунок для інших майданчиків проводиться за аналогічною методикою, оскільки їхні розміри однакові.

Нижче наведено розрахунок потужності освітлювальної установки для стійлового приміщення.

Відповідно до вимог СНіП обирається робоче загальне рівномірне освітлення, що забезпечує виконання робіт з однаковою точністю. Нормований рівень освітленості становить  $E_n = 75$  лк на висоті 0.8 м. від підлоги.

Оскільки приміщення є вологим і має хімічно агресивне середовище, застосовується світильник ЛСП15 зі ступенем захисту IP 54.

Проектна висота розміщення світильників:

$$H_p = H - H_3 - H_{p.п} = 3,22 - 0 - 0,8 = 2,42 \text{ м} \quad (4.9.)$$

де ,  $H$  - висота приміщення;

$H_3$  - висота звису світильника приймається нульовою, оскільки кріпильні кронштейни не будуть використовуватися;

$H_{p.п}$  - висота робочої поверхні.

Відстань між світильниками:

$$L = H_p \cdot \lambda_c = 2,42 \cdot 1,4 = 3,3 \text{ м} \quad (4.10.)$$

де ,  $\lambda_c$  - оптимальна відстань між світильниками з використанням КСС типу "Д"  $\lambda_c = 1,4$ .

Кількість світильників в ряду:

$$n_c = \frac{a}{L} = \frac{75}{3,3} = 23 \text{ шт} \quad (4.11.)$$

де , а - довжина приміщення.

Кількість рядів світильників в переміщенні:

$$n_p = \frac{y}{L} = \frac{20}{3,3} = 6 \text{ рядів.} \quad (4.12.)$$

де , у - ширина приміщення.

Розрахунок проводимо методом коефіцієнта використання світлового потоку, тому що нормується горизонтальна освітленість, приміщення зі світлими огорожувальними стінами без затемнюючих предметів .

Індекс приміщення:

$$i = a - \frac{y}{H_p \cdot (a+y)} = 75 \cdot \frac{20}{2,42 \cdot (75+20)} = 6,5 \quad (4.13.)$$

Виходячи з обраного світильника, індексу приміщення та коефіцієнтів відбиття огорожувальних конструкцій ( $\rho_n = 30$   $\rho_c = 10$   $\rho_{р.п.} = 10$ ) визначаємо коефіцієнт використання світлового потоку  $U_{oy} = 0,67$ .

Світловий потік світильника:

$$\Phi_c = A \cdot E_n \cdot K_3 \cdot \frac{z}{n_c} \cdot U_{oy} = \frac{1500 \cdot 75 \cdot 1,3 \cdot 1,1}{138 \cdot 0,67} = 1740 \text{ лм} \quad (4.14.)$$

де , А- площа приміщення , м<sup>2</sup>;

$E_n$  - норма освітленості , лк;

$K_3$  - коефіцієнт запасу;

z - коефіцієнт нерівномірності ( z = 1,1 ... 1,2 стор.23 (л - 4)).

Світловий потік однієї лампи:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{\Phi_{\text{с}}}{n_{\text{л}}} = \frac{1740}{2} = 870 \text{ лм} \quad (4.15.)$$

де,  $n_{\text{л}}$  - кількість ламп у світильнику.

Обрано лампу Osram L 30W/77 для використання з  $\Phi_{\text{с}} = 1000 \text{ лм}$   $P_{\text{н}} = 30 \text{ Вт}$ .

Відхилення світлового потоку:

$$\Delta\Phi = \frac{\Phi_{\text{к}} - \Phi_{\text{р}}}{\Phi_{\text{р}}} = \frac{1000 - 870}{870} \cdot 100\% = 15\% \quad (4.16.)$$

Оскільки відхилення світлового потоку лампи знаходиться у прийнятних межах  $-10\% \dots +20\%$ , ми остаточно затверджуємо світильник ЛСП15 в комплекті з лампою Osram L 30W/77.

Далі визначаємо потужність освітлювальної установки для електрощитової.

Відповідно до вимог СНіП обирається робоче загальне рівномірне освітлення з нормованим рівнем освітленості  $E_{\text{н}} = 100 \text{ лк}$  на вертикальній поверхні на висоті 1,5 м від підлоги.

Оскільки приміщення електрощитової сухе, застосовується світильник ЛСП02 зі ступенем захисту IP 20.

Розрахункова висота для освітлювальної установки:

$$H_{\text{р}} = H - H_{\text{с}} - H_{\text{р.п.}} = 3,22 - 0 - 1,5 = 1,72 \text{ м} \quad (4.17.)$$

Висота звису дорівнює нулю, тому кронштейни для кріплення не передбачаються.

Розрахунок здійснюється точковим методом, оскільки в приміщенні нормується освітленість на вертикальній поверхні.

$$0,5 \cdot H_{\text{р}} = 0,5 \cdot 1,72 = 0,86 < L_{\alpha} = 1,2 \quad (4.18.)$$

тому розрахунок виконується для лінійного джерела світла.

Відстань від точки проєкції світильника до контрольної точки в центрі щита становить:

$$P = \frac{y}{2} - C_{\text{Щ}} = \frac{3}{2} - 0,38 = 1,1 \text{ м} \quad (4.19.)$$

де ,  $y$  - ширина приміщення , м;

$C_{\text{Щ}}$  - ширина щита , м;

Дистанція від світильника до контрольної точки:

$$d_{\text{л}} = \sqrt{H_{\text{п}}^2 \cdot P^2} = \sqrt{1,72^2 \cdot 1,1^2} = 2 \text{ м} \quad (4.20.)$$

Кут що утворюється між вертикальною віссю світильника та напрямком світлового променя, спрямованого до контрольної точки:

$$\gamma = \frac{\arctg P}{H_{\text{п}}} = \frac{\arctg 1,1}{1,72} = 32^\circ \quad (4.21.)$$

Кут зору, під яким спостерігається світильна лінія:

$$\alpha = \frac{\arctg L_{\text{л}}}{d_{\text{л}}} = \frac{\arctg 1,2}{2} = 57,7^\circ = 1 \text{ рад} \quad (4.22.)$$

Тепер розглянемо розрахунок вертикальної освітленості:

$$E_{\text{а.в}} = E_{\text{а}} \cdot \left( \cos \theta + \frac{P}{H_{\text{п}} \cdot \sin \theta} \right) = 38 \cdot \left( \cos 90 + \frac{1,1}{1,72 \cdot \sin 90} \right) = 40,8 \text{ лк} \quad (4.23.)$$

де ,  $\theta = 90^\circ$  - кут нахилу поверхні.

Світловий потік світильника:

$$\Phi_c = 1000 \cdot E_H \cdot K_3 \cdot \frac{H_p}{\mu \cdot E_{a.v.}} = 1000 \cdot 100 \cdot 1,3 \cdot \frac{1,72}{1 \cdot 40,8} = 5480 \text{ лм} \quad (4.24.)$$

Світловий потік однієї лампи:

$$\Phi_l = \frac{\Phi_c}{2} = \frac{5480}{2} = 2740 \text{ лм} \quad (4.25.)$$

Базуючись на розрахунковому світловому потоці, ми обираємо лампу Philips TL-D 36W/54-765 1SL/25, яка має фактичний світловий потік  $\Phi_k = 2500$  лм.

Відхилення світлового потоку:

$$\Delta\Phi = \frac{\Phi_k - \Phi_p}{\Phi_p} = \frac{2500 - 2740}{2740} \cdot 100\% = -8,8\% \quad (4.26.)$$

Відхилення світлового потоку знаходиться в межах від -10 % до +20 %, тому остаточно приймаємо світильник ЛСП02 з двома лампами Philips TL-D 36W/54-765 1SL/25.

Розрахунок потужності освітлювальних установок для інших приміщень проводиться методом питомої потужності, оскільки вони відносяться до допоміжних, а також цей метод дозволяє здійснювати розрахунок у випадках, коли освітлювальні установки не входять до основної частини завдання.

Загальна потужність, споживана освітлювальною мережею:

$$\sum P = \sum P_{л.н.} + 1,2 \sum P_{л.л.} = 3380 + 1,2 \cdot 10160 = 15,5 \text{ кВт} \quad (4.27.)$$

де,  $\sum P_{л.н.}$  – загальна потужність ламп розжарювання;

$1,2 \sum P_{л.л.}$  – загальна потужність люмінесцентних ламп.

$$\sum P_{л.н.} = 800 + 200 + 1200 + 280 + 200 + 400 = 3380 \text{ Вт} \quad (4.28.)$$

$$\Sigma P_{\text{Л.Л.}} = 10080 + 80 = 10160 \text{ Вт} \quad (4.29.)$$

#### 4.3. Розрахунок силової мережі тваринницького комплексу

Таблиця 4.5

Обране устаткування тваринницького комплексу

Назва устаткування	Тип струмоприймача	Кількість	$P_{\text{НОМ}}$ Вт	$I_{\text{НОМ}}$ А
ТСН-160	РА112М4	2	4	9
Вентилятор	РА90L4	2	1,5	4

У таблиці 4.6 наведено обладнання тваринницького комплексу; розрахунок другого комплексу є аналогічним, тому його не наводимо.

Силова мережа тваринницького комплексу поділена на три групи, а розрахунок проводиться за тією ж методикою, що і при розрахунку силової мережі молочного блоку.

Моменти навантаження на групах:

$$M_1 = \Sigma(P \cdot L) = 1,5 \cdot 10,5 + 12 \cdot 10,5 = 141,75 \text{ кВт} \cdot \text{м}; \quad (4.30.)$$

$$M_2 = 1,5 \cdot 79,5 + 12 \cdot 79,5 = 1037,25 \text{ кВт} \cdot \text{м}; \quad (4.31.)$$

$$M_3 = 4 \cdot 25 + 1,5 \cdot 25 + 4 \cdot 25 + 1,5 \cdot 25 = 275 \text{ кВт} \cdot \text{м}. \quad (4.32.)$$

Площа поперечного перерізу жил кабелів, визначена розрахунком для кожної групи навантаження:

$$S_1 = \frac{M_1}{C \cdot \Delta U} = \frac{141,75}{50 \cdot 2,5} = 1,1 \text{ мм}^2; \quad (4.33)$$

$$S_2 = \frac{1037,25}{50 \cdot 2,5} = 8,2 \text{ мм}^2; \quad (4.34)$$

$$S_3 = \frac{275}{50 \cdot 2,5} = 2,2 \text{ мм}^2 \quad (4.35.)$$

Значення коефіцієнта  $C$  і  $\Delta U$  аналогічно молочному блоку.

Розрахункові струми в групах.

Струм у вентиляційній установці:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi} = \frac{12}{1,7 \cdot 0,38 \cdot 1} = 18,5 \text{ А} \quad (4.36.)$$

де ,  $P$  - Потужність нагрівальних елементів (ТЕНів) вентиляційної установки;

$U$  - номінальна напруга;

$\cos\varphi$  - коефіцієнт потужності, оскільки навантаження є переважно активним, приймаємо  $\cos\varphi = 1$ .

Оскільки всі значення струмів відомі, робочий струм групи визначається шляхом сумування струмів електроприймачів, підключених до неї:

$$I_1 = 4 + 18 = 22 \text{ А}; \quad (4.37.)$$

$$I_2 = 4 + 18 = 22 \text{ А}; \quad (4.38.)$$

$$I_3 = 9 + 4 + 9 + 4 = 26 \text{ А} \quad (4.39.)$$

Для всіх трьох груп приймаємо чотирижильний кабель марки АВВГ. Переріз струмоведучих жил становить: для першої групи — 2,5 мм<sup>2</sup>, для другої — 10 мм<sup>2</sup>, для третьої — 2,5 мм<sup>2</sup>. Обраний кабель перевіряється на допустимий

нагрів при тривалому розрахунковому струмі. Допустиме струмове навантаження для перерізу 2,5 мм<sup>2</sup> становить  $I_{\text{доп}} = 28\text{А}$  на перетин 10 мм<sup>2</sup>  $I_{\text{доп}} = 60\text{А}$ .

Перевірка обраного кабелю на групах:

$$I_{\text{доп}} = 28\text{А} \geq I_{1\text{роз}} = 22\text{А}; \quad (4.40.)$$

$$I_{\text{доп}} = 80\text{А} \geq I_{2\text{роз}} = 22\text{А}; \quad (4.41.)$$

$$I_{\text{доп}} = 28\text{А} \geq I_{3\text{роз}} = 26\text{А} \quad (4.42.)$$

Остаточно залишаємо раніше обрані кабелі, оскільки вони відповідають вимогам щодо нагріву при тривалому розрахунковому струмі. Спосіб прокладання — у трубі.

Підбір розподільного силового щита та захисних пристроїв.

Загальний ввідний струм силового щита:

$$I_{\text{в}} = I_{\text{с}} + I_{\text{о}} = 70 + 39,8 = 109,8 \text{ А} \quad (4.43.)$$

де,  $I_{\text{с}}$  — струм силової мережі;

$I_{\text{о}}$  — струм освітлювальної мережі.

Загальний розрахунковий струм на вводі, який враховує пікове навантаження при запуску найбільш потужного двигуна:

$$I_{\text{max}} = \sum I_{\text{н}} + (I_{\text{н}} \cdot K_{\text{іп}}) = 35 + 35 + 4 + 4 + (9 \cdot 5,5 + 9 \cdot 5,5) = 177\text{А} \quad (4.44.)$$

Оскільки на об'єкті є два найбільш потужні двигуни з ідентичними характеристиками, ми визначаємо їхній сумарний пусковий струм.

Сумарні струми на групах:

$$I_{1max} = 28 + (7 \cdot 6,2) = 71,4 \text{ A} \quad (4.45.)$$

Пускове струмове навантаження першої групи дорівнює пусковому навантаженню другої групи.

$$I_{3max} = 4 + 4 + (9 \cdot 5,5 + 9 \cdot 5,5) = 107 \text{ A} \quad (4.46.)$$

Попередньо обираємо розподільний шафа серії ПР8501 з ввідним автоматом ВА51-33 та чотирма лінійними автоматичними вимикачами серії ВА51-31. Ступінь захисту IP 21, оскільки приміщення, де встановлюється щит, є сухим.

Перевірка обраних автоматичних вимикачів проводиться за такими параметрами: на відхідних групах прийнято автомат з  $I_n = 50 \text{ A}$ ,  $I_{відс} = 175 \text{ A}$  та  $I_{н.р.} = 40 \text{ A}$ , а на вводі —  $I_n = 160 \text{ A}$ ,  $I_{відс} = 480 \text{ A}$  та  $I_{н.р.} = 150 \text{ A}$ .

При перевірці автоматів на групах враховуємо найпотужнішу групу. Оскільки таких груп дві і вони мають однакове навантаження, у розрахунок приймаємо параметри однієї з них.

$$U_{н.а.} = 500 \text{ В} \geq U_{н.у.} = 380 \text{ В}; \quad (4.47.)$$

$$I_{н.а.} = 50 \text{ A} \geq I_{роз} = 35 \text{ A}; \quad (4.48.)$$

$$I_{н.р.} = 40 \text{ A} \geq K_{н.р.} \cdot I_{роз} = 1,1 \cdot 35 = 38,5 \text{ A}; \quad (4.49.)$$

$$I_{відс} = 175 \text{ A} \geq K_{н.е.} \cdot I_{max} = 1,25 \cdot 71,4 = 89,2 \text{ A} \quad (4.50.)$$

Оскільки всі умови виконуються, остаточно на групах приймаємо раніше обраний автоматичний вимикач.

Далі проводиться перевірка вибраного автоматичного вимикача на вводі.

$$U_{н.а.} = 500 \text{ В} \geq U_{н.у.} = 380 \text{ В}; \quad (4.51.)$$

$$I_{н.а.} = 160 \text{ А} \geq I_{роз} = 135,8 \text{ А}; \quad (4.52.)$$

$$I_{н.р} = 150 \text{ А} \geq K_{н.р.} \cdot I_{роз} = 1,1 \cdot 135,8 = 149,3 \text{ А}; \quad (4.53.)$$

$$I_{відс} = 480 \text{ А} \geq K_{н.е.} \cdot I_{max} = 1,25 \cdot 216,8 = 271 \text{ А} \quad (4.54.)$$

Оскільки всі умови виконуються, на вводі приймаємо раніше обраний автоматичний вимикач серії ВА51-33. Таким чином, остаточно затверджується силовий щит серії ПР8501 з ввідним автоматом ВА51-33 та чотирма автоматичними вимикачами на відхідних групах серії ВА51-31.

Таблиця 4.6

Характеристика автоматичних вимикачів силового щита

Тип автомата	Номінальний струм вимикача, А	Вставка миттєвого спрацювання електромагнітного розчіплювача, А	Номінальний струм розчіплювача, А
ВА51-31	50	175	40
ВА51-33	160	480	150

Сумарна встановлена електрична потужність всього комплексу:

$$P_{уст} = P_{ж} + P_{м} = 106 + 44 = 150 \text{ кВт} \quad (4.55.)$$

де ,  $P_{ж}$  – сумарна енергетична потреба обох тваринницьких комплексів;

$P_{м}$  – потужність молочного блоку.

Потужність молочного блоку.

$$P_{м} = P_{с} + P_{о} = 41,5 + 2,5 = 44 \text{ кВт} \quad (4.56.)$$

де ,  $P_{с}$  - потужність силової мережі;

$P_{о}$  - потужність освітлювальної мережі.

$$P_{с} = \sum P = 10 + 20 + 11,5 = 41,5 \text{ кВт} \quad (4.57.)$$

де ,  $\sum P$  - сума потужностей силового кола.

Розрахункова потужність освітлювальної мережі, отримана в результаті попередніх обчислень  $P_{о} = 2,5$  кВт.

Потужність 1 тваринницького комплексу:

$$P_{ж} = P_{с} + P_{о} = 37 + 16 = 53 \text{ кВт} \quad (4.58.)$$

$$P_{с} = 1,5 + 1,5 + 4 + 4 + 1,5 + 1,5 + 24 = 37 \text{ кВт} \quad (4.59.)$$

$$P_{о} = 16 \text{ кВт} \quad (4.60.)$$

Сумарна потужність для обох комплексів складає  $53 \cdot 2 = 106$  кВт.

Сукупна встановлена потужність двох тваринницьких комплексів разом із молочним блоком становить 140 кВт. При цьому потужність інших тваринницьких комплексів прийнята як аналогічна цьому значенню.

## РОЗДІЛ 5. ПРОЕКТУВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК КОГЕНЕРАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ

### 5.1. Вибір типу та принципу дії когенераційної установки

Сучасні тенденції розвитку енергетики спрямовані на підвищення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів та мінімізацію втрат енергії у технологічних процесах. Одним із найбільш ефективних напрямів є впровадження когенераційних систем, які забезпечують одночасне виробництво електричної та теплової енергії в межах одного технологічного циклу.

Принцип дії когенераційних установок базується на перетворенні хімічної енергії палива у механічну, а потім — в електричну енергію з одночасним відбором теплоти, що утворюється під час роботи двигуна або турбіни. Отримане тепло від вихлопних газів і системи охолодження використовується для опалення, гарячого водопостачання або технологічних потреб господарства. Такий підхід забезпечує комплексне використання енергетичного потенціалу палива та дозволяє досягти загального коефіцієнта корисної дії до 85–92 %.

При виборі типу когенераційної установки враховуються такі фактори, як доступність палива, рівень теплових і електричних навантажень, режим споживання енергії, а також екологічні вимоги. У сільськогосподарських підприємствах, зокрема у тваринницьких комплексах, доцільним є застосування газових когенераційних установок, оскільки природний газ має високу теплотворну здатність, стабільні характеристики згоряння, доступність та екологічну чистоту.

Газові когенераційні системи, як правило, базуються на газопоршневих двигунах внутрішнього згоряння, з'єднаних з електричними генераторами. Вони характеризуються високою надійністю, простотою технічного обслуговування та можливістю регулювання потужності залежно від поточних потреб споживачів. Тепло, що утворюється в процесі роботи двигуна, утилізується за

допомогою теплообмінників, де відбувається нагрівання теплоносія для систем опалення або гарячого водопостачання.

Важливим елементом конструкції когенераційної установки є система рекуперації теплоти, яка може включати регенеративний теплообмінник. Він забезпечує максимально ефективне відновлення теплоти вихлопних газів і охолоджуючих рідин, що підвищує загальний ККД установки та зменшує витрати палива.

Залежно від потужності споживання, когенераційна установка може працювати як у паралельному режимі з електричною мережею, так і в автономному режимі, забезпечуючи енергетичну незалежність об'єкта. Такий підхід особливо актуальний для сільських господарств, де спостерігається нестабільність зовнішнього енергопостачання.

Таким чином, вибір газової когенераційної установки для енергопостачання тваринницького комплексу є технічно та економічно обґрунтованим рішенням, яке дозволяє забезпечити ефективне використання енергоресурсів, знизити експлуатаційні витрати, покращити екологічні показники та підвищити енергетичну автономність підприємства.

## 5.2. Вибір когенераційної установки

Вибір когенераційної установки є одним із ключових етапів проектування системи енергопостачання тваринницького комплексу. Від правильності цього вибору залежить ефективність використання паливно-енергетичних ресурсів, стабільність енергопостачання, рівень експлуатаційних витрат.

При визначенні типу когенераційної установки враховуються такі чинники: необхідна електрична та теплова потужність об'єкта, доступність та вартість палива, режим енергоспоживання, можливість паралельної роботи з електричною мережею, а також умови експлуатації.

Для забезпечення енергетичних потреб тваринницького комплексу розрахункова потреба в електричній енергії становить близько 140 кВт. З огляду

на ці вимоги, доцільним є використання газової когенераційної установки PowerLink CG150-NG, яка забезпечує необхідний рівень електричної потужності та виробляє значну кількість корисного тепла, що може бути використане для опалення, вентиляції та гарячого водопостачання виробничих приміщень.

Когенераційна газопоршнева установка з номінальною електричною потужністю 150 кВт та тепловою потужністю 207 кВт призначена для забезпечення споживачів трифазним змінним струмом напругою 400 В і частотою 50 Гц, а також для одночасного виробництва теплової енергії.



Рис. 5.1. Установка PowerLink CG150-NG

До переваг обраної установки належить висока паливна економічність, надійність, низький рівень викидів шкідливих речовин та простота технічного обслуговування. Конструкція обладнана регенеративним теплообмінником, який дозволяє максимально використовувати теплоту відпрацьованих газів, зменшуючи втрати енергії та підвищуючи загальну ефективність системи.

Ступінь шуму, що формується під час роботи обладнання когенераційної установки, відповідає вимогам, встановленим ГОСТ 12.1.003-83 «Шум. Загальні вимоги безпеки».

Табл. 5.1.

## Характеристики PowerLink CG150-NG

Параметр	Значення
<b>Основні атрибути</b>	
Виробник	PowerLink
Країна виробник	Великобританія
Тип когенераційної установки	Газопоршнева установка
Вид пального	Природний газ / Біогаз / Скраплений газ / Звалищний газ / Попутний нафтовий газ
Модель двигуна	MAN E2876E312
Модель силового генератора	LSA44.3L10
Панель управління	PCC-300
<b>Потужність і ефективність</b>	
Електрична потужність (100% навантаження)	150 кВт
Теплова потужність (100% навантаження)	207 кВт
Номінальна вихідна потужність	160 кВт
Потужність (електрична), кВт	150 / 113 / 75
Потужність (теплова), кВт	207 / 155 / 104
Загальний ККД електростанції, %	91,1 / 91,8 / 88,6
Електричний ККД, %	38,3 / 38,7 / 37,1

## Продовження таблиці 5.1.

Тепловий ККД, %	52,8 / 53,1 / 51,5
Номинальна напруга, В	400 / 230
Номинальна сила струму при 400 В	289 А
Номинальна частота струму	50 Гц
<b>Робочі параметри</b>	
Витрата палива при 50% навантаженні	20 нм <sup>3</sup> /год
Витрата палива при 75% навантаженні	29 нм <sup>3</sup> /год
Витрата палива при 100% навантаженні	39 нм <sup>3</sup> /год
Витрата масла, не більше	0,125 г/кВт·год
Тиск газу, що подається	10–20 кПа
Температура води на виході нагрівача	90–95 °С
Температура води у зворотній лінії	70–75 °С
<b>Габаритні розміри та маса</b>	
У відкритому виконанні (Д×Ш×В)	4000 × 1225 × 1875 мм
У контейнерному виконанні (Д×Ш×В)	6000 × 2400 × 2500 мм
У шумозахисному кожусі (Д×Ш×В)	4285 × 1280 × 2095 мм
Вага у відкритому виконанні	3300 кг

PowerLink CG150-NG може працювати як в автономному режимі, так і в паралелі з електромережею, що забезпечує гнучкість у керуванні енергетичними потоками. У разі потреби надлишкову електроенергію можна подавати до зовнішньої мережі або використовувати для живлення допоміжного обладнання.

Використання такої когенераційної системи в умовах тваринницького господарства дозволяє не лише повністю покрити власні енергетичні потреби ферми, а й суттєво знизити витрати на енергоресурси, підвищити енергоефективність виробництва та зменшити екологічний вплив завдяки скороченню викидів вуглекислого газу.

Отже, вибір когенераційної установки PowerLink CG150-NG є технічно та економічно обґрунтованим рішенням для забезпечення енергопостачання тваринницького комплексу. Її застосування забезпечує комплексне використання енергії палива, стабільність роботи систем життєзабезпечення тваринницьких приміщень і підвищення енергетичної незалежності підприємства.

### 5.3. Опис складників когенераційної установки PowerLink CG150-NG

Когенераційна установка PowerLink CG150-NG є сучасним енергоефективним обладнанням, призначеним для одночасного виробництва електричної та теплової енергії. Вона працює на основі газопоршневого двигуна, який використовує природний газ як основне паливо, що забезпечує екологічність і економічність експлуатації. Основною перевагою цієї установки є високий коефіцієнт корисної дії, надійність у роботі та можливість безперервного енергопостачання споживачів.

У цьому підрозділі розглядаються основні складові елементи когенераційної системи PowerLink CG150-NG, їх функціональне призначення, принцип роботи та взаємодія між собою. Опис компонентів дозволяє краще зрозуміти конструктивні особливості установки, її технічні характеристики та

механізми забезпечення стабільної та ефективної роботи в умовах фермерського господарства.

Приводний двигун: У ролі приводу використовується газопоршневий двигун, який перетворює хімічну енергію газового палива (природного газу) в механічну — обертальний момент колінчастого вала. Запуск двигуна здійснюється за допомогою електричного стартера, що живиться від акумуляторної батареї. Охолодження двигуна відбувається за допомогою рідинної системи. Для зниження рівня вібрацій між двигуном і рамою встановлено демпфувальні антивібраційні елементи. На двигуні змонтовані електричні з'єднання напругою 24 В (до акумуляторів) та 220 В (силова мережа).

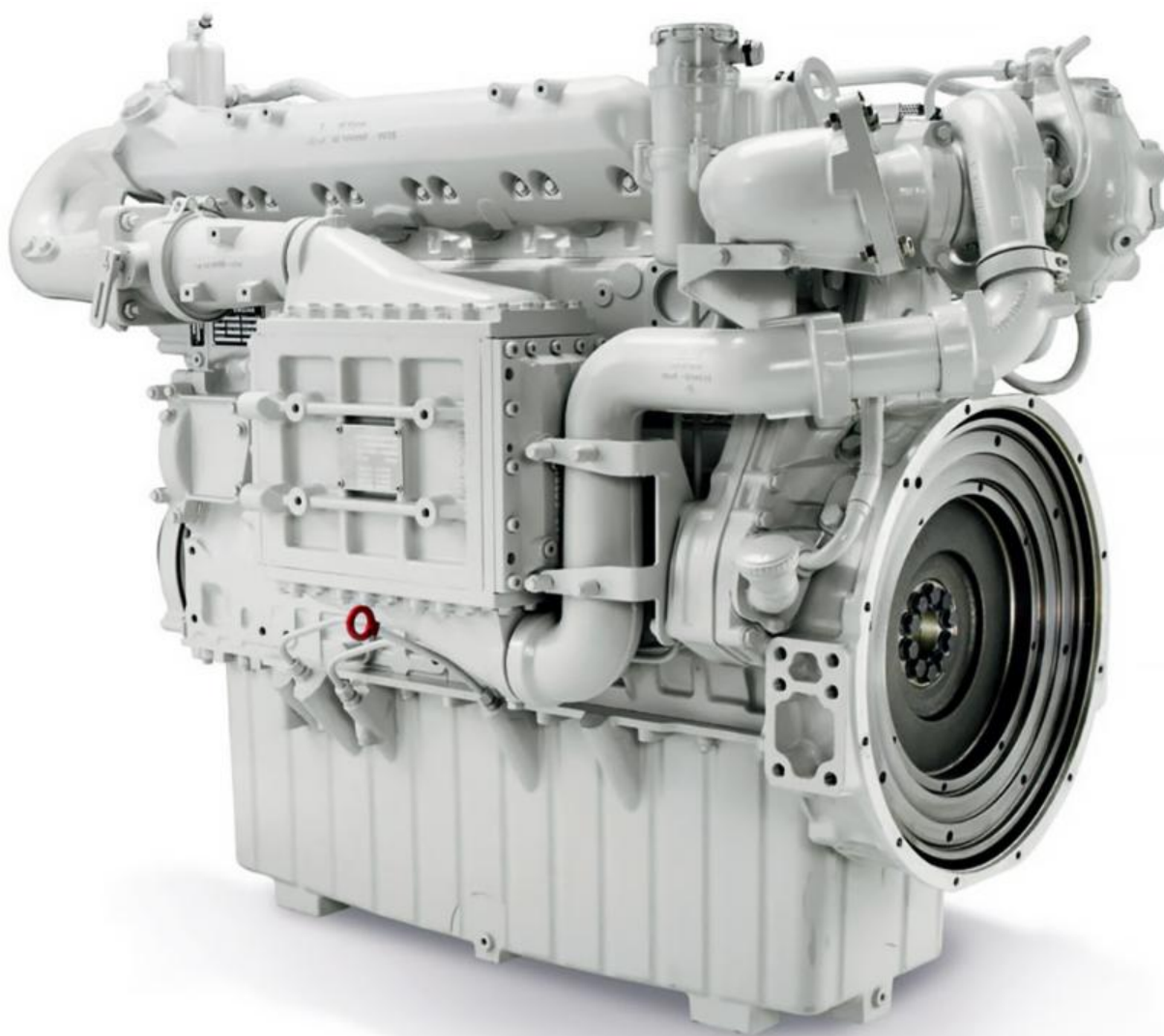


Рис. 5.2. Газові двигуни MAN (MAN Truck & Bus AG, Німеччина)

Двигуни MAN користуються великою популярністю в Україні завдяки своїй високій надійності та здатності забезпечувати безперервну роботу

цілодобово, сім днів на тиждень. Під час вибору газового генератора ключовими критеріями є його економічність і довговічність. Для досягнення цих показників необхідна висока ефективність використання первинної енергії та мінімальні витрати на технічне обслуговування — саме ці вимоги повністю реалізовані в двигунах MAN. Вони вирізняються підвищеним коефіцієнтом корисної дії та більшим ступенем стиснення порівняно з аналогами, що забезпечує вищу продуктивність і більшу кількість отримуваної теплової енергії у вигляді гарячої води.

Генератор змінного струму являє собою синхронну електричну машину з явнополюсним ротором ( $p = 2$ ). Його ізоляція відповідає класу H, а ступінь захисту — IP23, що забезпечує надійність під час експлуатації. Охолодження генератора здійснюється повітрям. Конструкція агрегату передбачає можливість його роботи як у паралельному режимі з електричною мережею, так і спільно з іншими генераторами.

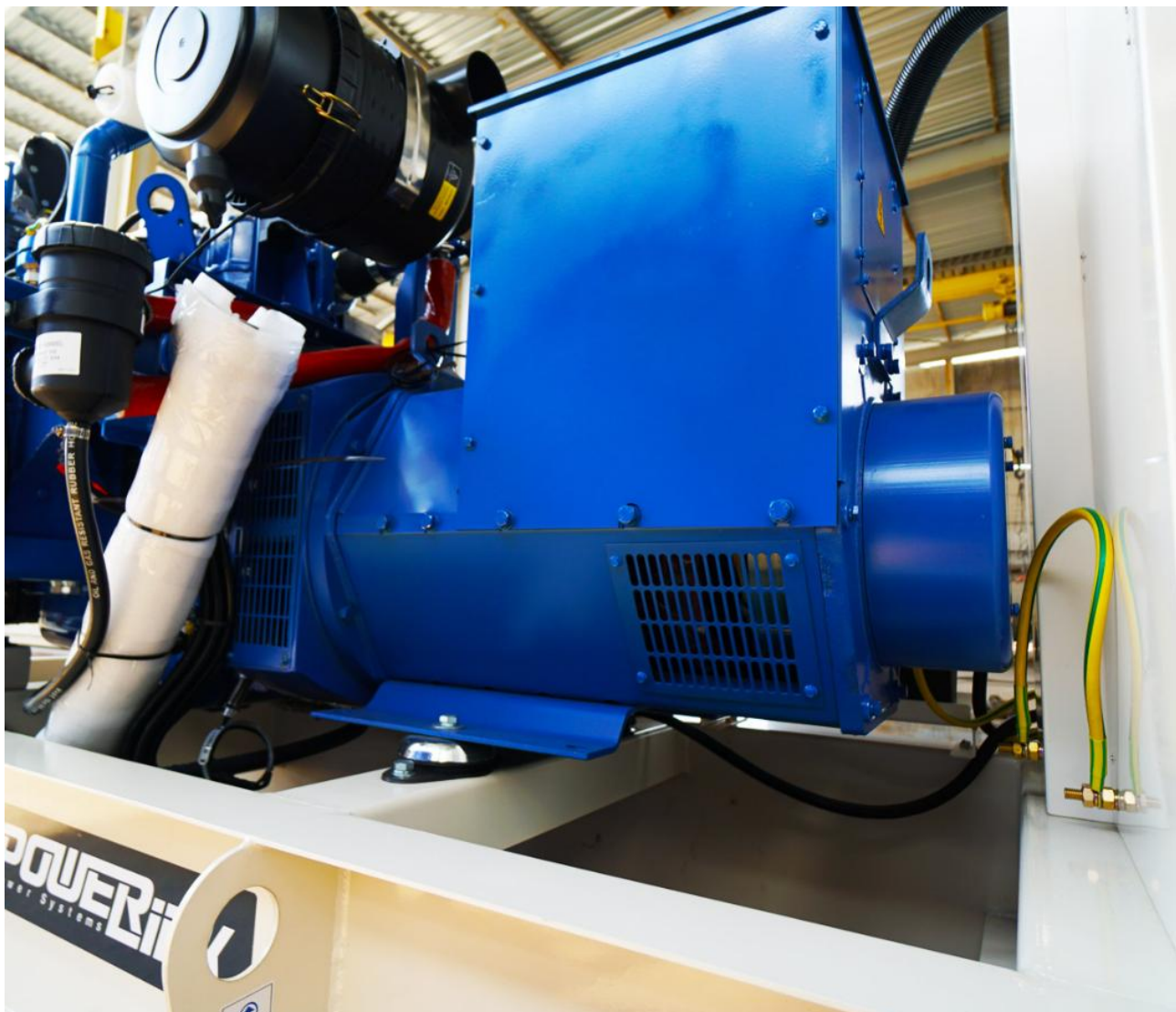


Рис. 5.3. Генератор змінного струму

Газова рампа призначена для подачі пального до газового двигуна. Під час цього процесу здійснюється фільтрація газу від механічних домішок і зниження його тиску до робочого рівня, необхідного для стабільної роботи двигуна.



Рис. 5.4. Газова рампа

Регулятор обертів призначений для підтримання стабільної частоти обертання двигуна на рівні 1500 об/хв.

Гнучкі шланги використовуються для організації основного та вторинного контурів охолодження, а перехідники забезпечують їхнє під'єднання до трубопроводів відповідних контурів.

Система доливання масла призначена для постійного контролю рівня оливи в картері двигуна та її автоматичного поповнення у разі зниження. Вона включає бак та електричний насос, які забезпечують циркуляцію робочих рідин через основний і вторинний контури охолодження двигуна, а також пропуск рідини через драйкулер.

Розширювальний бак призначений для компенсації надлишкового об'єму рідини в контурах охолодження при зміні їхніх температурних режимів.



Рис. 5.5. Розширювальний бак

Теплообмінник утилізації тепла головного контуру призначений для відведення надлишкової теплоти від головного контуру охолодження двигуна та подальшого її використання в споживчих контурах.

Електричний триходовий клапан призначений для регулювання напрямку потоку охолоджувальної рідини, спрямовуючи його або через теплообмінник, або по лінії байпаса, залежно від поточного температурного режиму.

Горизонтальний котел-утилізатор вихлопних газів призначений для відведення надлишкової теплоти від вихлопних газів двигуна та її подальшого використання в споживчих контурах.

Система керування (паралельна робота з мережею, управління ГПУ, контроль охолодження, силова частина) забезпечує координацію роботи всіх компонентів генераторної установки, їхню взаємодію, моніторинг параметрів систем та захист генератора під час експлуатації.

## РОЗДІЛ 6. ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ПРОЕКТНОГО РІШЕННЯ

### 6.1. Капітальні витрати на реалізацію проекту

Капітальні витрати становлять одну з основних складових економічного обґрунтування впровадження когенераційної установки. Вони охоплюють усі одноразові інвестиції, необхідні для реалізації проекту — від придбання основного обладнання до монтажу, пусконаладжувальних робіт та введення системи в експлуатацію. Розрахунок капітальних витрат дозволяє оцінити початкові фінансові потреби, визначити структуру витрат і встановити економічну доцільність проекту.

У цьому підрозділі наведено склад і орієнтовну вартість основних елементів капітальних вкладень, пов'язаних із встановленням когенераційної установки PowerLink CG150-NG, а також допоміжного обладнання, інженерних мереж і будівельно-монтажних робіт.

Витрати на когенераційну установку приведені у таблиці 6.1

Таблиця 6.1

#### Витрати на когенераційну установку

Вид витрат	Вартість, тис. грн.
КУ PowerLink CG150-NG	4 410
Доставка КУ на місце установки	300
Допоміжне устаткування і матеріали	30
Установка і монтаж	100
Інші витрати (приймаємо у розмірі 10% від спільних витрат)	484
<b>Загальні витрати</b>	<b>5 324</b>

Загальні витрати на реалізацію проекту складають, 5 324 тис. грн.

## 6.2. Розрахунок собівартості й терміну окупності

Основними показниками використовуваними при проведенні техніко-економічного обґрунтування будь-якого інноваційного проекту є собівартість кінцевого продукту, в даному випадку енергії, а також термін окупності.

Початкові дані для розрахунку техніко-економічних показників приведені в таблиці 6.2.

Таблиця 6.2

Загальні початкові дані по

Найменування	Значення
Середній тариф на електроенергію для підприємства, грн/кВт·год	10,4
Середній тариф на електроенергію для підприємства, грн/кВт·год	
Число годин роботи КУ у рік, T, година	5475
Середнє електроспоживання до установки КУ, кВт·год	55 кВт
Кап. витрати на енергоустановку, тис. грн.	5 324
Витрати на експлуатацію і сервісне обслуговування, тис. грн./рік	200
Питома витрата природного газу, м <sup>3</sup> /кВт·год	0,26
Вартість природного газу, грн./ м <sup>3</sup>	28,8

Річне електроспоживання на ОД до установки КУ складає, кВт · год

$$GE = EC \cdot T \quad (7.1)$$

де EC – середнє електроспоживання на підприємстві до установки КУ, кВт·год;

T – число годин роботи установки в рік, годин.

$$GE = 55 \cdot 5475 = 301\,125 \quad (7.2)$$

Річне теплопостачання від установки складає, кВт · год

$$Q_{\text{рік}} = Q_{\text{уст}} \cdot T \quad (7.3)$$

де  $Q_{\text{уст}}$  – еплова потужність при 100% навантаженні, кВт · год;

$T$  – число годин роботи установки в рік, годин.

$$Q_{\text{рік}} = 207 \cdot 5475 = 1\,133\,325 \text{ кВт} \cdot \text{год} \quad (7.4)$$

Собівартість електроенергії та теплової енергії визначається як сума питомих витрат на її виробництво СЕ, грн/кВт · год

$$CE = UCM + UCES \quad (7.5)$$

де  $UCM$  - питома вартість масла, грн/кВт · год;

$UCES$  - питома вартість на експлуатацію і сервісне обслуговування, грн/кВт · год.

Розраховуємо питому вартість газу:

$$UCM = PG \cdot VG \quad (7.6)$$

де  $PG$  - питома витрата масла, м<sup>3</sup>/кВт · год;

$VG$  - вартість масла грн./м<sup>3</sup>.

$$UCM = 0,26 \cdot 28,8 = 7,49 \quad (7.7)$$

Розраховуємо питому вартість на експлуатацію і сервісне обслуговування:

$$УСЕС = \frac{ЗЕС}{ГЕ} \quad (7.8)$$

де ЗЕС - витрати на експлуатацію і сервісне обслуговування КУ, грн./рік.

$$УСЕС = \frac{200000}{301\,125} = 0,66 \quad (7.9)$$

Т.ч., собівартість електроенергії та теплової енергії визначається СЕ, грн/кВт·год

$$СЕ = 7,49 + 0,66 = 8,15 \quad (7.10)$$

Річна економія визначається  $E_{ел}$ , грн.

$$E_{ел} = ГЕ \cdot (ТЕ - СЕ), \quad (7.11)$$

$$E_{ел} = 301125 \cdot (10,4 - 8,15) = 677531 \quad (7.12)$$

Річна економія від тепла визначається, грн

$$E_{тп} = Q_{рік} \cdot В = 1133325 \cdot 1,5 = 1\,700\,000 \text{ грн} \quad (7.13)$$

Термін окупності визначається  $CO$ , рік

$$CO = \frac{КЗ}{E_{ел} + E_{тп}} \quad (7.14)$$

де КЗ - кап. витрати на енергоустановку, тис. грн.;

$$CO = \frac{5324 \cdot 1000}{677\,531 + 1\,700\,000} = 2,25 \quad (7.15)$$

Таким чином, термін окупності КУ, установленної на підприємство складе майже 2,5 роки.

Енергоустановка, встановлена на об'єкті дослідження знаходиться в робочому стані в середньому 5,5 тис. годин в рік, має вартість експлуатаційних витрат - 200 тис. грн./рік. При капітальних витратах на енергоустановку у розмірі 5 324 тис. грн. термін окупності складе біля 2,5 років, при терміні експлуатації 20 років.

Економічна рентабельність систем когенерації значною мірою визначається місцевими умовами. На неї впливають вимоги кінцевого споживача, характер його технологічного устаткування і електроприймачів, вартість покупної електроенергії і тепла, ціна і доступність палива, наявність персоналу.

Для здобуття максимального економічного ефекту від реалізації цього проекту необхідний ретельно проаналізований по всіх аспектах, економічно обгрунтований вибір головного елемента системи – когенераційної установки.

## ВИСНОВОК

У магістерській роботі виконано комплексне дослідження можливості підвищення енергоефективності фермерського господарства шляхом впровадження когенераційної установки PowerLink CG150-NG у систему енергопостачання тваринницьких приміщень.

Актуальність дослідження зумовлена сучасним станом енергетичної системи України, що характеризується нестабільністю постачання енергоресурсів, зростанням їхньої вартості та необхідністю переходу аграрного сектору до сталого розвитку на засадах енергоефективності та екологічної безпеки. Фермерські господарства, як одна з ключових ланок агропромислового комплексу, потребують автономних, надійних та економічно обґрунтованих джерел енергії, здатних забезпечити безперервність виробничих процесів незалежно від зовнішніх енергетичних умов.

Об'єктом дослідження виступила система енергопостачання фермерського господарства, а предметом — методи підвищення її ефективності за рахунок впровадження когенераційних технологій. Робота виконувалась на прикладі базового господарства ВП НУБіП України НДГ “Велико-Снітинське ім. О.В. Музиченка”, діяльність якого пов'язана з виробництвом сільськогосподарської продукції та утриманням великої кількості тваринницьких приміщень із значним енергоспоживанням.

У ході дослідження проаналізовано сучасні системи енергозабезпечення фермерських господарств України, визначено основні проблеми їхньої енергетичної залежності, а також технічні й економічні переваги використання когенераційних систем. На основі проведених розрахунків встановлено, що когенераційна установка PowerLink CG150-NG, яка працює на природному газі, здатна забезпечити одночасне виробництво електричної та теплової енергії.

Розрахунки показали, що установка може знизити витрати на енергопостачання за рахунок використання відпрацьованого тепла для опалення

та вентиляції тваринницького комплексу, що суттєво підвищує загальну енергоефективність господарства.

Розрахунок капітальних витрат показав, що початкові інвестиції у придбання, монтаж і налаштування обладнання є значними, проте термін окупності проекту становить 2,5 років, залежно від тарифів на електроенергію та вартість природного газу. Основними експлуатаційними витратами є паливо, технічне обслуговування та планові ремонти.

Таким чином, результати дослідження свідчать, що впровадження когенераційної установки PowerLink CG150-NG у фермерському господарстві є технічно доцільним, економічно вигідним і екологічно обґрунтованим рішенням. Вона забезпечує оптимальне поєднання економічної ефективності, енергетичної автономності сприяючи підвищенню конкурентоспроможності фермерських господарств України та розвитку сучасних енергоефективних технологій у сільському господарстві.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кондратенко, О. В., Шевченко, П. М. “Системи когенерації в аграрному виробництві: енергоефективність та екологічні переваги” Вісник НТУ «ХП». Серія: Енергетичні системи та екологія. — 2021.
2. Бутенко, І. В. “Енергетичний менеджмент у сільському господарстві: навчальний посібник.” — Київ: НУБіП України, 2020.
3. Войтенко, О. І., Ткаченко, Р. Г. “Теплотехнічна оцінка когенераційних установок на базі двигунів внутрішнього згоряння.” Теплоенергетика. — 2021.
4. Третьяк, К. Р. “Підвищення енергоефективності тваринницьких підприємств на основі когенераційних технологій.” Науковий вісник НУБіП України. Серія «Енергетика та автоматика». — 2022.
5. Шматко, В. І. “Розвиток комбінованих систем тепло- та електропостачання на базі когенераційних технологій.” — К.: КНУБА, 2020.
6. Ковальчук, В. М., Мазур, І. Г. “Аналіз енергоспоживання фермерських господарств та шляхи його оптимізації.” Енергетика і електрифікація. — 2023.
7. Дорошенко, А. М. “Розробка систем автономного енергопостачання аграрних підприємств з використанням природного газу.” — Монографія. — Харків: УкрНТУ, 2021.
8. Овчаренко, Л. П., Козак, І. А. “Економічне обґрунтування впровадження когенераційних систем на аграрних підприємствах.” Агропромисловий комплекс України. — 2023.
9. Гелетуха, Г. Г., Железна, Т. А. “Перспективи розвитку когенерації в Україні”. / Біоенергетика. — 2022
10. Свідерський, В. Б. “Впровадження когенераційних систем у тваринницьких приміщеннях як фактор підвищення енергоефективності виробництва.” Наукові праці НУБіП України. — 2024.
11. Закон України «Про альтернативні джерела енергії» № 555-IV від 20.02.2003 р. URL: [<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-15>]

12. Міністерство аграрної політики та продовольства України. Стан і перспективи розвитку енергозабезпечення аграрного сектору України. — Київ: Мінагрополітики, 2023.
13. Національний університет біоресурсів і природокористування України. Навчально-дослідне господарство “Велико-Снітинське ім. О.В. Музиченка”: офіційний сайт. URL: [<https://ndg-snitynka.nubip.edu.ua>]
14. Міжнародна енергетична агенція (IEA). *Cogeneration and Renewable Energy Integration*. — Paris: OECD/IEA, 2023.
15. ООО "УКРЭНЕРГОБУДСЕРВИС". (Міні-ТЕЦ) PowerLink CG150-NG. URL: [<https://ua-energy.kiev.ua/ua/p1255493651-mini-tets-powerlink.html>]
16. Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council on Energy Efficiency. — Official Journal of the European Union, 2012.
17. Combined Heat and Power (CHP) – Technology Fact Sheet. — U.S. Department of Energy, 2023.
18. ISO 50001:2018 Energy management systems — Requirements with guidance for use. — International Organization for Standardization, Geneva, 2018.
19. IEA Cogeneration and District Heating Report. — International Energy Agency, Paris, 2022.
20. GlobalData Energy Research. *Gas Cogeneration Systems Market Outlook 2024–2030*. — London, 2024.
21. European Committee for Standardization (CEN). *EN 16325:2022 Guarantees of Origin related to Energy*. — Brussels, 2022
22. U.S. Department of Energy. *Combined Heat and Power (CHP) – Technology Fact Sheet*. — Washington D.C., 2023.
23. PowerLink Power Systems. CG150-NG Gas Generator Technical Specification Sheet. URL: [<https://www.powerlinkworld.com>]