Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва та транспорту

Кафедра «Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент»

“Допущено до захисту ”
Зав. кафедрою ЕТС та ЕМ
к.т.н., професор
_____Плєшков П.Г.
“___“ _____2022 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за другим (магістерським) рівнем вищої освіти

на тему:

Підвищення ефективності енергопостачання свинокомплексу шляхом застосування когенераційної технології

Виконав здобувач вищої освіти
2 курсу магістратури, групи ЕНМ-21М
ОПП «Енергетичний менеджмент»
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
_____ Колгін С. С.
«____»_____2022 р.

Керівник проекту
докт. техн. наук, професор
_____Клименко В.В.

«_____»_____2022 р.

Рецензент _____
_____

м. Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет *будівництва та транспорту*
Кафедра *електротехнічних систем та енергетичного менеджменту*
Рівень вищої освіти *другий (магістерський)*
Галузь знань *14 «Електрична інженерія»*
Спеціальність *141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»*
Освітньо-професійна програма *Енергетичний менеджмент*

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Завідувач кафедри
Плєшков П.Г.
"___" _____20___року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

Колгіна Сергія Сергійовича
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи *Підвищення ефективності енергопостачання свинокомплексу шляхом застосування когенераційної технології*

Increasing the efficiency of energy supply to the pig complex through the use of cogeneration technology

2. Керівник роботи *Клименко Василь Васильович, д. т. н., професор*
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання здобувачем роботи до захисту 7 грудня 2022 року

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи *Метою є підвищення ефективності енергопостачання свинокомплексу шляхом застосування біогазової когенераційної технології з утилізацією вторинних продуктів тваринництва. Завдання роботи: 1. Виконати аналіз структури споживання теплової і електричної енергії свинокомплексами. 2. Запропонувати схемно-технологічне рішення утилізації рідкого гною на прикладі свинокомплексу ТОВ "Марлен-КД" шляхом застосування біогазової когенераційної установки (БКУ) та енергетичного модулю на основі органічного циклу Ренкіна (ORC). 3. Розрахувати енергетичний потенціал від утилізації рідкого гною шляхом застосування біогазової когенераційної технології та визначити очікуваний вихід біогазу на свинокомплексі ТОВ «Марлен-КД». 4. Підібрати обладнання для БКУ та енергетичного ORC-модуля. 5. Визначити енергетичні показники ефективності системи енергопостачання свинокомплексу з БКУ та енергетичним ORC-модулем. 6. Визначити необхідні параметри вимірювального обладнання для обліку енергоносіїв БКУ з ORC-модулем. Виконати підбір лічильника вимірювання кількості виробленої електричної енергії та обладнання необхідного для його встановлення. 7. Розрахувати дисконтний період окупності впровадження системи енергопостачання свинокомплексу ТОВ „Марлен-КД" з використанням БКУ та ORC-модуля.*

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	*к.т.н., доц. Савеленко І.В.*		
Економічна частина	*к.е.н., доц. Журило І.В.*		

7. Дата видачі завдання 05. 09. 2022 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	*Вступ.*	*12.09.22*	
2	*Аналіз технологічного процесу та теплотехнічного обладнання свинокомплексів.*	*19.09.22*	
3	*Аналіз процесів та обладнання біогазових когенераційних установок(БКУ) і визначення шляхів інтенсифікації виробництва біогазу.*	*3.10.22*	
4	*Схемно-конструктивні рішення біогазової установки та біореактора для енергоефективної БКУ та аналіз варіантів її роботи.*	*24.10.22*	
5	*Система обліку енергоносіїв БКУ.*	*07.11.22*	
6	*Охорона праці*	*14.11.22*	
7	*Розрахунок економічної ефективності застосування біогазової когенераційної установки на свинокомплексі*	*21.11.22*	
8	*Висновки.*	*28.11.22*	
9	*Оформлення пояснювальної записки та презентації магістерської роботи.*	*02.12.22*	

Дата видачі завдання
«____» _____2022 р.

Підпис керівника _____

Завдання прийнято до виконання
«____» _____2022 р.

Підпис здобувача _____

АНОТАЦІЯ

Колгін С. С. Підвищення ефективності енергопостачання свинокомплексу шляхом застосування когенераційної технології.

Спеціальність 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». – ОПП «Енергетичний менеджмент». – Центральноукраїнський національний технічний університет. – м. Кропивницький, 2022 р.

Метою данної роботи є підвищення ефективності енергопостачання свинокомплексу шляхом застосування біогазової когенераційної технології з утилізацією вторинних продуктів тваринництва.

Виконаний аналіз показав, що постачання діючих свинокомплексів теплом здійснюється переважно від котельної установки, яка використовую викопне паливо, а електропостачання-від зовнішніх електричних мереж. Фактично не утилізуються вторинні продукти тваринництва, що негативно впливає на екологію довкілля.

В роботі запропоновано схемно-технологічне рішення рішення енергоефективної системи автономного енергозабезпечення свинокомплексу шляхом застосування біогазової когенераційної установки (БКУ) та енергетичного модулю на основі органічного циклу Ренкіна (ORC-модуль).

Виконані розрахунки енергобалансу такої системи на прикладі її застосування для енергопостачання свинокомплексу ТОВ «Марлен-КД». Показано, що запропонована система енергопостачання, яка передбачає утилізацію відходів рідкого гною для отримання біогазу та наступне його використання для виробництва електричної та теплової енергії, дозволяє повністю забезпечити потреби в енергоспоживанні підприємства та навіть реалізувати частину виробленої електроенергії за «зеленим» тарифом.

Виконано аналіз процесів та обладнання біогазових установок і визначено шляхи інтенсифікації виробництва біогазу для умов утилізацію відходів рідкого гною. Розроблено схемно-конструктивні рішення біогазової установки та біореактора-ферментатора для енергоефективної БКУ і виконано аналіз варіантів її роботи. Визначено, що застосування ORC-модулю дозволяє додатково виробляти на 1 МВт теплової енергії 150 кВт електричної енергії.

Ключові слова: біогаз, біогазова когенераційна установка, відновлювальні джерела енергії, газгольдер, ферментатор, orc-модуль.

THE SUMMARY

Kolgin S. S. Increasing the efficiency of energy supply to the pig complex through the use of cogeneration technology

Specialty 141 - " Electric power, electrical engineering and electromechanics ". - OPP "Energy Management". - Central Ukrainian National Technical University. – Kropyvnytskyi, 2022.

The purpose of this work is to increase the efficiency of energy supply to the pig complex by using biogas cogeneration technology with the utilization of secondary livestock products.

The performed analysis showed that the supply of heat to the operating pig complexes is carried out mainly from the boiler plant, which uses fossil fuel, and the electricity supply is from external electrical networks. In fact, secondary products of animal husbandry are not disposed of, which negatively affects the ecology of the environment.

The paper proposes a scheme-technological solution for an energy-efficient autonomous power supply system for a pig complex by using a biogas cogeneration unit (BCU) and an energy module based on the organic Rankine cycle (ORC module).

Calculations of the energy balance of such a system were carried out on the example of its application for energy supply to the pig complex of Marlen-KD LLC. It is shown that the proposed energy supply system, which involves the disposal of liquid manure waste to obtain biogas and its subsequent use for the production of electric and thermal energy, allows you to fully meet the energy consumption needs of the enterprise and even sell part of the generated electricity at the "green" tariff.

The analysis of the processes and equipment of biogas plants was performed and the ways of intensification of biogas production were determined for the conditions of disposal of liquid manure waste. Schematic and structural solutions of a biogas plant and bioreactor-fermenter for an energy-efficient BCU were developed and an analysis of options for its operation was performed. It was determined that the use of the ORC module allows additional production of 150 kW of electrical energy for 1 MW of thermal energy.

Key words: biogas, biogas cogeneration plant, renewable energy sources, gas holder, fermenter, orc module.

Перелік умовних позначень, скорочень і термінів

ВЕ – відновлювальна енергетика

БГУ – біогазова установка

БКУ – біогазова когенераційна установка

ГПП – головна понижувальна підстанція

КГУ – когенераційна установка

НРТ – низько киплячі робочі тіла

ПС – підстанція

Зміст

Анотація …….. 2

Перелік умовних позначень, скорочень і термінів ……..... 6

Зміст…….. 7

Вступ……. 9

Розділ 1. Аналіз технологічного процесу, енергетичного обладнання та системи видалення вторинних відходів свинокомплексів**……...** 12

1.1 Аналіз технологічного процесу та енергетичного обладнання….. 12

1.2 Аналіз системи видалення вторинних відходів…….. 15

1.3 Висновок до розділу……. 19

Розділ 2. Аналіз процесів та обладнання біогазових установок і визначення шляхів інтенсифікації виробництва біогазу …… 20

2.1 Аналіз процесів та обладнання біогазових установок …… 20

2.2 Визначення шляхів інтенсифікації виробництва біогазу ……... 37

2.3 Висновок до розділу…… 39

Розділ 3. Схемно-конструктивні рішення біогазової установки та біореактора для енергоефективної БКУ і. аналіз варіантів її роботи……... 41

3.1 Розрахунок енергетичного потенціалу виробництва біогазу……. 41

3.2 Схемно-конструктивні рішення біогазової когенераційної установки ……. 50

3.3 Розрахунок теплового балансу БКУ…….. 62

3.4 Аналіз варіантів роботи БКУ …… 66

3.5 Розрахунок кількості електричної енергії для продажу за «зеленим» тарифом……. 75

3.6 Висновок до розділу…… 81

Розділ 4. Система обліку енергоносіїв біогазової когенераційної установки…… 83

4.1 Характеристики датчиків для контрольно-вимірювальних

	приладів……	83
4.2	Вибір типу та кількості лічильників…….	85
4.3	Висновки до розділу……...	88
	Загальні висновки……..	89
	Перелік посилань……..	91
	Додаток А	94
А	Охорона праці……..	94
А1	Технічні рішення щодо безпечної експлуатації об’єкта……..	94
А2	Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії……..	94
А3	Пожежна безпека…….	98
	Додаток Б	100
Б	Техніко-економічна ефективність застосування біогазової когенераційної установки на свинокомплексі ТОВ «Марлен-КД»	100
Б1	Розрахунок капітальних витрат…….	101
Б2	Розрахунок експлуатаційних витрат…….	102
Б3	Прибуток від утилізації рідкого гною в БКУ з ORC-модулем…..	109
Б4	Визначення економічних показників……	112

ВСТУП

На тлі енергетичної кризи, пов’язаної з вичерпанням викопних паливних ресурсів та ускладненням політичної ситуації, актуальним є пошук нових джерел енергії. Необхідність скорочення споживання імпортованої енергетичної сировини в Україні на сьогоднішній день є загальнодержавним завданням, спрямованим на підвищення енергетичної безпеки країни. Рішення цього завдання регламентується на законодавчому рівні шляхом стимулювання розвитку технологій, які використовують відновлювані джерела енергії [1-3].

Згідно Стратегії [4] планується, що в 2035 році обсяг виробництва загального первинного постачання енергії з біомаси, біопалива та відходів складе всього 11,5% від загальної генерації енергії в Україні.

Галузь біоенергетики в Україні має чи не найбільший потенціал розвитку. Це обумовлено особливостями клімату, потенціалом аграрного сектору і наявністю необхідної робочої сили.

Проте реалізація наявного потенціалу біоенергетики ускладнюється тим, що не розвинуті інфраструктура та сировинна база, які необхідні для забезпечення

Однак використання біомаси, яку можна розглядати як відновлювальне джерело енергії, може стати важливою складовою у балансі виробництва теплової та електричної енергії.

Поряд з проблемами енергоспоживання існує низка екологічних та санітарних проблем через локальне нагромадження органічних відходів чи побічних продуктів, кількість яких дуже велика для природного потенціалу біодеградації. Такі відходи чи побічні продукти можна утилізувати.шляхом переробки їх в біогаз з використанням відповідних технологічних рішень та біогазових установок.

За великим рахунком з будь-якої органіки в умовах відсутності кисню можна виробити біогаз. Продукт обміну речовин метанових бактерій - метан (CH_4) є основним енергетичним компонентом біогазу, вміст його коливається від 5 до 85%. Як вихідний матеріал для одержання біогазу можуть бути

використані відходи тваринницьких ферм та різних рослин, побутові органічні відходи населених пунктів.

Енергетичне використання біогазу в порівнянні зі спалюванням природного газу, зрідженого газу, нафти та вугілля є нейтральним по відношенню до двоокису вуглецю (CO_2), оскільки виділення CO_2 перебуває в межах природного кругообігу вуглецю і споживається рослинами протягом вегетаційного періоду. Таким чином, концентрація CO_2 в атмосфері в порівнянні з використанням викопного палива не збільшується.

Отож біогазові технології створюють привабливі енергетичні, екологічні та економічні аспекти для їх застосування.

Метою данної роботи є підвищення ефективності енергопостачання свинокомплексу шляхом застосування біогазової когенераційної технології з утилізацією вторинних продуктів тваринництва.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі основні **задачі**:

- Виконати аналіз структури споживання теплової і електричної енергії свинокомплексами.

- Запропонувати схемно-технологічне рішення утилізації рідкого гною на прикладі свинокомплексу ТОВ "Марлен-КД" шляхом застосування біогазової когенераційної установки (БКУ) та енергетичного модулю на основі органічного циклу Ренкіна (ORC).

- Розрахувати енергетичний потенціал від утилізації рідкого гною шляхом застосування біогазової когенераційної технології та визначити очікуваний вихід біогазу на свинокомплексі ТОВ «Марлен-КД».

- Підібрати обладнання для біогазової когенераційної установки та енергетичного ORC-модуля.

- Визначити енергетичні показники ефективності системи енергопостачання свинокомплексу з біогазовою когенераційною установкою та енергетичним ORC-модулем

- Визначити необхідні параметри вимірювального обладнання для обліку енергоносіїв БКУ з ORC-модулем. Виконати підбір лічильника вимірювання

кількості виробленої електричної енергії та обладнання необхідного для його встановлення: на стороні низької напруги.

- Розрахувати дисконтний період окупності впровадження системи енергопостачання свинокомплексу ТОВ „Марлен-КД” з використанням біогазової когенераційної установки та ORC-модуля.

Об’єктом дослідження є система енергопостачання свинокомплексу.

Предметом дослідження є біогазова когенераційна установка для систем енергопостачання свинокомплексів.

Методи досліджень. В роботі використані наступні методи досліджень:

- аналіз і узагальнення науково-технічної літератури для визначення сучасних аспектів і перспектив підвищення ефективності систем енергопостачання свинокомплексів;

- методи технічної термодинаміки для розрахунків процесів перетворення енергії в біогазовій установці та ORC-модулі;

- методи балансів матеріальних та енергетичних потоків при визначенні енергетичного потенціалу виробленого біогазу;

- застосування прикладних програм Microsoft Excel та Matlab при виконанні техніко-економічних розрахунків.

Наукова цінність роботи полягає в підвищення енергоефективності свинокомплексів шляхом удосконалення застосування біогазової когенераційної технології.

Практична цінність полягає у розробці схемно-конструктивних рішень для утилізації вторинних продуктів тваринництва шляхом застосування біогазової когенераційної технології з виробництвом теплової та електричної енергії для автономного енергозабезпечення свинокомплексу.

Структура роботи. Магістерська робота складається із вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Повний обсяг роботи складає 113 сторінок. Основна частина викладена на 90 сторінках друкованого тексту, містить 24 рисунки та 18 таблиць. Список використаних джерел містить 28 джерела та викладений на 3 сторінках.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ, ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ТА СИСТЕМИ ВИДАЛЕННЯ ВТОРИННИХ ВІДХОДІВ СВИНОКОМПЛЕКСІВ

1.1 Аналіз технологічного процесу та енергетичного обладнання

За останні роки характер сільськогосподарського виробництва істотно змінився. На сучасних свинарських підприємствах, з'явилися нові споживачі електроенергії, такі як, автоматизовані установки для підтримки потрібного освітлення в приміщеннях, установки для забезпечення оптимального мікроклімату. Роль електроенергії в сільськогосподарському виробництві зростає, а значить і зростає необхідність забезпечення надійності електропостачання, завдяки якій можна в будь-який момент забезпечити споживача електроенергією. Великі свинокомплекси з поголів'ям 5 тис. і більше голів свиней, відносяться до електроспоживачів I категорії, так само до цієї категорії відносяться установки годівлі свиней, мікроклімату. Ці споживачі повинні забезпечуватися від двох незалежних взаємно резервуючих один одного джерел живлення, тому що перерва в електропостачанні може привести до значного збитку господарству, пошкодження дорогого основного обладнання, масового браку продукції, розладу складного технологічного процесу.

На прикладі ТОВ «Марлен-КД» будемо досліджувати ефективність і раціональність використання біоенергетичної установки в якості джерела енергозабезпечення.

Перш ніж досліджувати можливість застосування біоенергетичної установки на свинокомплексі, розглянемо його характеристики, які в подальшому дозволять нам раціонально підібрати обладнання і технологію для вироблення енергії.

У процесі дослідження було встановлено енергетичні навантаження свинокомплексу.

Свинокомплекс ТОВ «Марлен-КД» - сучасне підприємство, що динамічно розвивається, орієнтоване на повний цикл вирощування свиней.

Свинокомплекс закритого типу ТОВ «Марлен-КД», розташований на території 14 гектарів та включає в себе виробничі та допоміжні будівлі і споруди, серед яких: свинарник на 880 свиноматок, ремонтного молодняка, хрячника на 22 місця; свинарник для супоросних маток на 672 місця, для поросних маток на 672 місця; свинарник-маточник на 560 місць; свинарник для відлучених поросят на 9200 місць; 4 свинарника для відгодівлі на 4400 місць кожний; кормоцех; адмінбудівля; пункт технічного обслуговування та ремонту машин і обладнання; ветеринарна лабораторія з санітарною бойнею; гноєсховище; проміжна вигрібна яма на 400 м^3; трансформаторна підстанція .

Основні техніко-економічні характеристики свинокомплексу представлені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Основні техніко-економічні характеристики свинокомплексу ТОВ «Марлен-КД»

Поголів'я свиней (кількість стокомісць), в т. ч.:	28934
Холості матки та ремонтний молодняк	880
Хряки	22
Супоросні матки	672
Підсисні матки	560
Відлучені поросята	9200
Свині на відгодівлі	17600
Витрата природного газу, тис. м^3 на рік	630,3
Витрата електроенергії, млн. кВт×год/рік	3,109

При вирощуванні та утриманні свиней важливу роль включає мікроклімат, від якого залежить здоров'я свиней, а значить і всі виробничі та економічні показники підприємства. Мікроклімат в свинарниках регулюється автоматично, та включає в себе комбінацію систем: вентиляції; опалення; зволоження (охолодження); автоматики; освітлення.

Вентиляція. Задовільна якість повітря благоприємно впливає на здоров'я свиней підвищуючи продуктивність поголів'я. Системи вентиляції в свинарниках дозволяють в любий період року підтримувати потрібний

температурний режим, приток свіжого повітря, виключати протяги. Працюють вентиляційні системи при допомозі сучасних витяжних вентиляторів.

Опалення. Оптимальний температурний режим має важливе значення, для продуктивності свиней, особливо на ранніх етапах життя. Для досягнення найбільш ефективного нагрівання використовують нагрівачі прямого нагріву, які працюють на природному газі.

Зволоження (охолодження). В періоди спекотної погоди для підтримання нормальних умов життя та попередження теплового стресу, використовуються системи кондиціювання повітря.

Автоматика. Системи автоматичного контролю і регулювання в свинарниках дозволяють підтримувати комфортні умови для якісного вирощування свиней в будь-який час року. Комплектуються контролерами з усіма необхідними функціями. При цьому слід відмітити такі параметри як: вологість; тиск; кількість вуглекислого газу (датчики CO_2).

Всі системи мікроклімату комплектуються аварійною сигналізацією з незалежним джерелом живлення.

Для підтримки заданих параметрів, контролер мікроклімату аналізує зовнішні дані (температуру, вологість, швидкість і напрямок вітру), температурні зони всередині свинарника і подає сигнали на включення необхідних груп вентиляції (обігріву), панелей зволоження, а також управління приточними клапанами.

Контроллер дозволяє керувати: циклом годівлі; інтенсивністю освітлення; управлінням системою гноєвидалення; допоміжні системи (зважування корму, відкриття приточної вентиляції і т. і.).

Електрозабезпечення свинокомплексу ТОВ «Марлен-КД» здійснюється, від трансформаторної підстанції (ТП) 10/0,4 кВ, що живиться за допомогою повітряної лінії електропередачі від ПС «Компаніївка» 150/35/10 Компаніївської селищної ради, яка розташована на відстані біля 2-км від свинокомплексу.

Трансформаторна підстанція свинокомплексу включає 2 трансформатори потужністю 630 кВА (1-робочий, 1-резервний), та була побудована з врахуванням перспективи розвитку підприємства.

Існуючий вузол обліку електричної енергії розташовується на території ПС «Компаніївка» 150/35/10.

1.2. Аналіз системи видалення вторинних відходів

ТОВ «Марлен-КД» поступово розвивається, що супроводжується збільшенням поголів'я свиней.

В результаті діяльності свинокомплексу утворюється значна кількість побічних продуктів, зокрема, при застосуванні технології безпідстилкового утримання на щілинній підлозі – рідкий гній, до складу якого входять екскременти тварин, деяка кількість кормів, а також вода, яка потрапляє в систему гноєвидалення при прибиранні гною, митті обладнання, витіканні із автонапувалок, тощо.

Вихід рідкого гною залежить від багатьох факторів: виду та віку тварин, типу годівлі, способу утримання, технології видалення та накопичення гнійної маси. Добовий вихід безпідстилкового гною (у тоннах) визначається як сума екскрементів і кількості води, що надходить з усіх джерел у систему гноєвидалення.

Добовий вихід безпідстилкового гною визначається за формулою [9]:

$$Q_г = \sum(M_EJ + BJ) \cdot \frac{nJ}{1000}, \quad (1.1)$$

де $Q_г$ – добовий вихід гною, т;

M_EJ – добова маса екскрементів від однієї голови, кг (табл. 1.1);

BJ – добова кількість води, яка потрапляє в систему гноєвидалення, кг;

nJ – поголів'я тварин чи птиці виробничої групи, що одночасно утримується на фермі чи комплексі, гол.

Добова кількість води (BJ), яка потрапляє в систему гноєвидалення, розраховується за формулою:

$$BJ = K\ M_EJ \quad (1.2)$$

де К – коефіцієнт (приймають за табл. 1.2).

Добова кількість води, яка потрапляє в систему гноєвидалення,

розраховується за формулою (1.2).

Дані для розрахунку

Спосіб утримання свиней – на щілинній підлозі.

Система видалення гнойової біомаси – самосплав.

Поголів'я тварин, що утримується на свинокомлексі та добова маса утворюваних тваринних відходів, представлені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 - Поголів'я тварин, що утримується на свинокомплексі ТОВ «Марлен-КД» та добова маса утворюваних тваринних відходів

Вікова група тварин	Кількість поголів'я (nJ)	Добова маса екскрементів на 1 голову (M_EJ), кг [10]	Добова кількість води при самосплавній системі на одну голову (BJ =К · M_EJ при К = 1), кг
Холості матки та ремонтний молодняк	880	8,8	8,8
Хряки	22	11,1	11,1
Супоросні матки	672	10,0	10,0
Підсисні матки	560	15,3	15,3
Відлучені поросята	9200	1,8	1,8
Свині на відгодівлі	17600	6,5	6,5

Добовий вихід безпідстилкового гною від свинокомплексу складе:

$$Q_г = ((8,8 + 8,8) \cdot 880 + (11,1 + 11,1) \cdot 22 + (10,0 + 10,0) \cdot 672 + (15,3 + 15,3) \cdot 560 + (1,8 + 1,8) \cdot 9200 + (6,5 + 6,5) \cdot 17600) / 1000 = (15488 + 488,4 + 13440 + 17136 + 33120 + 228800) / 1000 = 308.4 \text{ тон /добу}$$

При цілорічному утриманні тварин з використанням підстилки або без неї річний вихід гнойової маси розраховується за формулою:

$$Q_{г.річний} = Q_{г.доб.} \cdot t, \text{ т} \quad (1.3)$$

де: t - кількість діб у році (365).

Річний вихід гнойової маси при експлуатації свинокомплексу ТОВ „Марлен-КД" складе:

$$Q_{г\ річний} = 308,4 \cdot 365 = 112566 \text{ тон}$$

Вологість безпідстилкового гною визначається за формулою [9]:

$$W_r = \frac{W_E + 100Z}{1 + Z}, \quad (1.4)$$

де $W_г$ – відносна вологість гною, %;

W_E – відносна вологість екскрементів, %;

Z – показник, який враховує кількість води, що потрапляє в систему гноєвидалення.

Відносна вологість екскрементів, W_E = 86-88 %

Показник, який враховує кількість води, що потрапляє в систему гноєвидалення приймаємо, Z = 1.

Тоді, вологість безпідстилкового гною складе:

$$W_r = \frac{86 + 100 \cdot 1}{1 + 1} = 93\%$$

Вміст сухої речовини визначається розрахунковим методом за формулою:

$$P_{a.c.p.} = \frac{Q_Г \cdot (100 - W_Г)}{100}, \quad (1.5)$$

де $P_{a.c.p.}$ – вміст абсолютно сухої речовини в гнойовій біомасі, т;

$Q_г$ – вихід гною з ферми (добовий або річний), т;

$W_г$ – відносна вологість гною, який виходить з ферми, %.

Вміст сухої речовини складе:

$$P_{a.c.p.} = \frac{308{,}4 \cdot (100 - 93)}{100} = 21{,}6 тон/год$$

Рідкий свинячий гній, має наступні основні характеристики [11]:

- суха речовина, - 2,5-13 %;
- органічна суха речовина (в сухій речовині), - 52-84 %;
- рівень pH, - 6,5-7,6;
- сирий жир (в сухій речовині), - 9 %;
- сирий протеїн (в сухій речовині), - 24 %;
- вуглеводні (в сухій речовині), - 32 %;
- загальний вміст азоту, - 3,9-8 г/л;
- вихід біогазу, - 0,220-0,637 $м^3$/кг органічної сухої речовини.

Кількість органічної речовини в гнійній біомасі, яку одержують від тварин за добу, визначається за формулою:

$$O_р = P_{a.c.p.} \cdot 0{,}8, т, \quad (1.6)$$

де $O_р$ – добова кількість органічної речовини в гною, т;

$P_{a.c.p.}$ – добова кількість абсолютно сухої речовини, т .

Кількість органічної речовини в гнійній біомасі, яку одержують від тварин за добу, складе:

$$O_р = 21,6_{.} \cdot 0,8 = 17,3 \text{ т.}$$

Основні характеристики системи видалення гною свиней на свинокомплексі ТОВ «Марлен-КД» зведені в таблицю 1.3.

Таблиця 1.3 - Основні характеристики системи видалення гною свиней на свинокомплексі ТОВ «Марлен-КД»

Спосіб видалення гною	Самосплав
Кількість утвореного рідкого гною, т/добу т/рік	 308,4 112566
Вологість самосплавного рідкого гною (%)	93
Кількість органічної речовини в сухій речовині рідкому гної (%)	80

Необхідність утилізації рідкого гною є одним із пріоритетних завдань щодо забезпечення санітарно-епідеміологічного благополуччя та екологічної безпеки.

Згідно статті 15 ЗУ № 1531-VII від 20.09.2016 р. [12], побічні продукти тваринного походження, що належать до категорії II (зокрема гній), можуть бути перероблені в біогаз, з попереднім обробленням шляхом стерилізації під тиском з постійним маркуванням отриманого матеріалу або без такого оброблення (якщо щодо таких побічних продуктів компетентним органом у порядку здійснення заходів державного контролю відповідно до вимог закону не встановлено ризику поширення особливо небезпечних (карантинних) хвороб).

Існуюча система видалення гною передбачає перекачування його з приміщень за допомогою насосів в накопичувальний резервуар, а потім до сепаратора, для розділення на „тверду” (70 % вологості) та рідку фракції.

Рідка фракція накопичується в лагунах, місткістю 45800 м^3, з подальшим використанням для „дощування” с/г угідь розташованих поблизу, за допомогою системи трубупроводів та дощувальних установок.

„Тверда” фаза витримується на майданчику для компостування біля 3-х місяців, з наступним використанням в якості біологічнихдобрив.

Під час витримування „твердої” фракції на майданчику компостування, а також накопичення рідкої в лагунах, відбувається викид забруднюючих речовин в атмосферне повітря.

Розрахунок забруднення атмосферного повітря внаслідок традиційного варіанту утилізації рідкого гною на свинокомплексі має також розрахунок.

1.3 Висновок до розділу

Аналіз технологічного процесу та теплотехнічного обладнання свинокомплексів на прикладі свинокомплексу ТОВ „Марлен-КД” показав значну залежність протікання технологічних процесів від енергеспоживання, а також недосконаліть традиційної системи утилізації побічного продукту – рідкого гною.

Система електропостачання свинокомплексу ТОВ «Марлен-КД» має резерви для підключення нових потужностей, які можливо використати для потенційної передачі надлишкової згенерованої електроенергії до ПС «Компаніївка» 150/35/10.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ ТА ОБЛАДНАННЯ БІОГАЗОВИХ УСТАНОВОК І ВИЗНАЧЕННЯ ШЛЯХІВ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ

2.1 Аналіз процесів та обладнання біогазових установок

Біогазова станція (біогазова установка) - це комплекс обладнання по переробці органічних відходів з виробництвом добрив і біогазу, який використовується в енергоустановках для вироблення електроенергії і тепла (когенераційна технологія).

Розкладання біомаси до найпростіших складових з отриманням метану, двоокису вуглецю і води здійснюється під впливом трьох видів бактерій. Перший вид - бактерії гідролізні, другий - кислотоутворюючі, третій - метаноутворюючі. У виробництві біогазу беруть участь не тільки бактерії класу метаногенів, а всі три види.

Характеристика процесів розкладання біомаси з отриманням метану представлена в таблиці 2.1 [11].

Таблиця 2.1. Характеристика процесів розкладання біомаси з отриманням метану

№ п/п	Процес	Бактерії	Вихід
I	Гідроліз	Аеробні гідролізні	Моносахариди, амінокислоти та жирні кислоти
II	Підвищення кислотності	Кислотоутворюючі	Органічні кислоти, двоокис вуглецю
III	Утворення оцтової кислоти	Бактерії, які утворюють оцтову кислоту	Оцтова кислота, двоокис вуглецю, водень
IV	Метаногенез	Метанові	Метан, двоокис вуглецю, вода

I. На першому етапі за допомогою ензимів аеробні бактерії перебудовують високомолекулярні органічні субстанції, такі як білки, жири, вуглеводи і целюлоза, на низькомолекулярні з'єднання, (амінокислоти, цукор жирні кислоти і вода). Гідролізні бактерії виділяють ензими, вони прикріплюються до зовнішньої стінки бактерій і починається процес розщеплення органічних складових субстрату на молекули, розчинних водою.

Процес цей називається гідролізом, він протікає дуже повільно і залежить від позаклітинних ензимів таких як амілази, целюлази, ліпази і протеази. На процес впливає рівень pH (4,5-6).

II. Далі йде процес розщеплення, займаються ним бактерії, які утворюють кислоту. Молекули проникають в клітини бактерій і продовжують там розкладатися. У цьому процес частково беруть участь анаеробні бактерії, при вживанні залишків кисню, вони утворюють анаеробні умови для метанових бактерій. При рівні pH 6-7,5 в першу чергу виробляються нестійкі жирні кислоти, такі як, карбонові кислоти - мурашина, оцтова, масляна кислота і пропіонова, гази - вуглець, двоокис вуглецю, аміак і сірководень, низькомолекулярні алкоголі – етанол. На цьому етапі рівень pH знижується.

III. Після цього, завдяки кислотоутворюючим бактеріям, створюються вихідні продукти для утворення метану, а саме: вуглець, двоокис вуглецю і оцтова кислота. Кислотоутворюючі бактерії дуже чутливі до температури, тому на цьому етапі необхідно витримувати певний рівень температури.

IV. На останньому етапі йде утворення метану, двоокису вуглецю і води, як продукту життєдіяльності метанових бактерій з мурашиної і оцтової кислот, вуглецю і водню. На цьому етапі виробляється 90% всього метану, з оцтової кислоти виробляється 70%. Утворення оцтової кислоти відбувається в три етапи розщеплення, це є фактором швидкості утворення метану. Утворення CH_4 являє собою процес, який постачає енергію метаногенним бактеріям. Метанові бактерії є виключно анаеробними. Оптимальний рівень pH для них становить 7, а амплітуда коливань може бути в межах 6,6 - 8.

У ланцюжку харчування наступні бактерії харчуються продуктами життєдіяльності попередніх. Різні групи бактерій працюють з різною швидкістю і тому пофазні розщеплення органіки відбувається неоднаково.

В природних умовах швидкість метаногенезу під впливом наявної в гнойовій біомасі спільноти (консорціуму) анаеробних мікроорганізмів не висока. Для інтенсифікації і нормального протікання процесу анаеробного розкладу біомаси необхідно створити оптимальні умови життєдіяльності анаеробних бактерій.

Існує велика кількість різних методів отримання метану. Принципова відмінність в способах роботи різних установок полягає в наступному:

• Способи подачі субстрату (методи порціонної і проточної подачі);

• Одно-або багатоступенева система.

Порціонний метод подачі субстрату використовується для розкладання твердого субстрату. Для порціонного методу характерне наповнення бродильної камери за один прийом. Порція проходить бродіння до кінця заданого для цього часу, на протязі якого субстрат не добавляють та не виймають. Після спливу заданого часу бродильна камера спустошується, при чому частина збродженого субстрату повертається назад в камеру для прививання „вирощених" бактерій.

Метод по якому відбувається бродіння рідкого субстрату є проточний метод в чистом вигляді чи в комбинації з накопичувальним. В невеликий резервуар поступає свіжий субстрат, потім декілька разів на протязі доби в бродильну камеру за допомогою спеціальних пристроїв потрапляє наступна порція субстрату, в той же час автоматично на переливі резервуару точно така ж кількість перебродженого субстрату перетікає в резервуар-склад. Перевагою такого методу є рівномірне виробництво газу, а недоліком змішування свіжого субстрату з уже перебродженим, що погіршує ефект гігієнізації.

Метод пробкового проштовхування. В установках використовуючи пробкове проштовхування субстрат рухається як пробка в прокольному напрямку по ферментатору. Діаметр такого ферментатора повинен бути набагато менше ніж довжина. Мішалку необхідно встановлювати поперечно по відношенню до руху. В таких установках вдається досягти високого гігієнізуючого ефекту, але вони займають багато місця.

Метод змінних резервуарів. Цей метод розрахований на роботу з двома резервуарами: з резервуара для попереднього зберігання, який вміщує кількість субстрату на 1 - 2 дні роботи, матеріал повільно, але поступово подають в ферментатор, в тей час як інший зброджує. Як тільки перший наповнюється, перероджений матеріал з іншого виливається в резервуар-склад, після чого знов відбувається наповнення резервуару попереднього зберігання. Резервуар-склад

також потрібно час від часу частково чи повністю звільняти тому його об’єм повинен бути більше змінного резервуару.

Цей метод характеризується дуже рівномірним виробництвом газу і добрими гігієнізуючими якостями оскільки на протязі всього періоду бродіння не вноситься свіжий субстрат. Недоліками данного методу є великі будівельні та енергетичні затрати.

Крім того проблематичним є і те, що при спорожненні ферментатор необхідно провітрювати до тих пір, поки газгольдер не наповниться в достатній мірі щоб замінити об’єм забраного переродженого субстрату.

Процеси розщеплення в більшості біогазових установок протікають паралельно, тобто вони протікають в одному місці і в один і той же час. Такі технології називають одноступінчастими. Для субстратів, що мають схильність до окислення через швидке їх розщеплення, рекомендується використовувати окремий резервуар для гідролізу і окислення, щоб з нього продукти розкладання невеликими дозами завантажувати в ферментатор. Технологія ця називається двоступеневою. Перевагою цієї технології є забезпечення оптимальних умов для більш ефективної роботи, в першу чергу одна з умов це підтримка рівня pH. Завдяки цьому можна досягти більшого виробництва біогазу.

Для того що б досягти високої ефективності і знизити термін окупності біоенергетичної установки потрібно дотримуватися певних сприятливих умов, які дозволять дати більший вихід біогазу. Перерахуємо їх.

Вологе середовище. Метанові бактерії можуть жити і розмножуватись, коли субстрати в достатній мірі розчинені в воді (вміщують мінімум 50 % води). На відміну від аеробних бактерій, дріжджів і грибів вони не можуть існувати в твердій фазі.

Недопущення проникнення повітря (герметичність). В анаеробному процесі розкладу органічних субстратів приймає участь цілий ряд мікроорганізмів. Біля 50 % задіяних бактерій є аеробними чи факультативно аеробними і потребують або добре переносять кисень. Тільки метанові бактерії являються виключно анаеробними. Якщо в субстраті ще присутній кисень, як, наприклад, в свіжому гної, то аеробні бактерії в першу чергу використовують

його. Це відбувається на першому етапі процесу утворення біогазу. Тому невелика кількість кисню, який проникає при цілеспрямованому нагнітанні повітря для очищення від сірки чи при відкриванні оглядових отворів, не є шкідливим.

Набагато значиміше – окисно-відновний потенціал. Окисно-відновний потенціал представляє собою степінь готовності іонів приймати електрони. Для росту анаеробних бактерій цей потенціал повинен знаходитись на дуже низькому рівні (-0,1V). Оскільки кисень має високий окисно-відновний потенціал (+1,78), то це спочатку шкодить анаеробним бактеріям. Однак якщо є достатньо речовин з низьким окисно-відновним потенціалом, то анаеробний процес може протікати і в присутності кисню

Температурний режим.

Кількість виробленого біогазу залежить від температури, чим температура вище тим вище ступінь і швидкість розкладу органічної речовини, та більше виробляється газу.

При зростанні температури знижується вміст метану в біогазі. Це пов’язано з тим, що при високих температурах розчинений в субстраті двоокис вуглецю інтенсивніше переходить в газову фазу (в біогаз), таким чином, що відносний вміст метану скорочується. Кількість газу, яку можна добути буде однаковим при достатньому кількості часу бродіння.

Існують три режима температури [14]:

- психрофільний ($t < 20°C$; $t_{опт} = 5 – 15°C$);
- мезофільний ($t = 25 – 45°C$; $t_{опт} = 32 – 42°C$);
- термофільний ($t = 45 – 55°C$; $t_{опт} = 48 – 51°C$).

Психрофільний режим зброджування не потребує спеціального підігріву субстрату, протікає при температурі навколишнього середовища і використовується на невеликих індивідуальних установках у країнах з теплим кліматом. Як правило, такі установки мають дискретний характер завантаження і вивантаження. Перевагою психрофільного режиму є відсутність витрат теплової енергії на підтримку стабільної температури.

До недоліків с*лід віднести повільне протікання біологічних процесів і низький вихід біогазу.

Мезофільний режим зброджування, як це підтверджено численними дослідженнями і практикою експлуатації установок, протікає найбільш інтенсивно в температурному інтервалі 32 – 42°С. При цьому найбільш активно «працюють» метаногенні бактерії з максимальним утворенням біогазу. Однак відхилення від оптимального інтервалу температур на ± 5°С приводить до зменшення виходу біогазу в 2 – 2,5 раза, що свідчить про чутливість бактерій до температури середовища і потребує виконання заходів щодо її підтримки.

Підігрівання і підтримання стабільної температури зброджування здійснюється, як правило, прокачуванням нагрітої води через спеціальні теплообмінники, змонтовані в біогазовій установці. Нагріту воду одержують у котельному агрегаті, використовуючи для його роботи частину одержуваного біогазу.

Термофільний режим дає можливість одержувати максимальну кількість біогазу за короткий термін зброджування. Інтенсивність зброджування в 2 рази вища, а час перебування в біогазовій установці в 2 рази менший, ніж при мезофільному. Однак підтримання порівняно високої температури потребує значних витрат енергії. Також при такому режимі роботи вимагається влаштування спеціальної системи автоматизації і точного управління біогазовою установкою. Це створює додаткові складнощі.

Недопущення потрапляння світла (потрапляння світла на субстрат в процесі бродіння уповільнює процес утворення метану. Тому цьому потрібно запобігати і захищати субстрат за допомогою світлонепроникних поверхонь).

Рівень pH (гідролізуючі і кислотоутворюючі бактерії з рівнем pH 4,5-6,3 досягають максимуму своєї життєвої активності в кислому середовищі і отже цей рівень pH потрібно підтримувати саме таким. А бактерії, які утворюють оцтову кислоту і метан можуть жити тільки при слаболужному або нейтральному рівні pH 6,8-8. Тому можна сказати, що якщо рівень pH вище або нижче оптимального,

то вони стають повільніше у своїй життєдіяльності, що є гальмуючим фактором для утворення біогазу.

Час процесу ферметації біомаси (експозиція зброджування) також є одним із важливих параметрів процесу метанового зброджування. В більшості випадків при переробці біомаси (зокрема гнойової) процес метаногенезу відбувається протягом 24...28 діб і більше. На практиці експозицію метанового зброджування з метою отримання біогазу встановлюють в залежності від температури, ступеня розкладу та вмісту органічних речовин в наступних інтервалах: при 10...25°С до 30 діб, при 25...40°С – від 10 до 20 діб, при 45...55°С – від 4 до 8 діб [9].

Стовп рідини в ферментаторах з робочим об'ємом більше 100 м^3, особливо при вертикальній компоновці, може призводити до пригнічення життєдіяльності анаеробних бактерій. З метою усунення цього явища, а також для інтенсифікації процесу виділення біогазу використовують незначне вакуумстатичне
розрідження в газовій порожнині реактора в межах 0,098...0,091 МПа.

Роботу біогазової станції можна розділити на два технологічних процеси:

• Анаеробне метанове бродіння відходів для отримання біогазу.

• Спалювання біогазу в енергетичній (когенераційній) установці для отримання електричної енергії і тепла.

Існує безліч тонкощів при отриманні метану, але принцип дії більшості біогазових установок однаковий, розглянемо сучасну біогазову установку її складові частини і принцип дії (див. рис. 2.1).

1. Приймальний резервуар призначений для короткочасного регулювання припливу біомаси, що підводиться до насосів. Резервуар складається з робочої (приймальної) частини, куди надходить біомаса, і розташованого над нею приміщення для обладнання (дробарок, транспортерів і т. д.). У цьому ж приміщенні розміщують і механічну частину решіток.

2. Система обігріву - всередині приймального резервуара і ферментатора підтримується фіксована для мікроорганізмів температура. В якості системи

підігріву служать теплообмінники, котли, насоси. Трубки для підігріву знаходяться всередині стінок резервуара, або на її внутрішній поверхні. При застосуванні когенераційної технології теплоносій від охолодження генератора використовується для підігріву приймального резервуару.

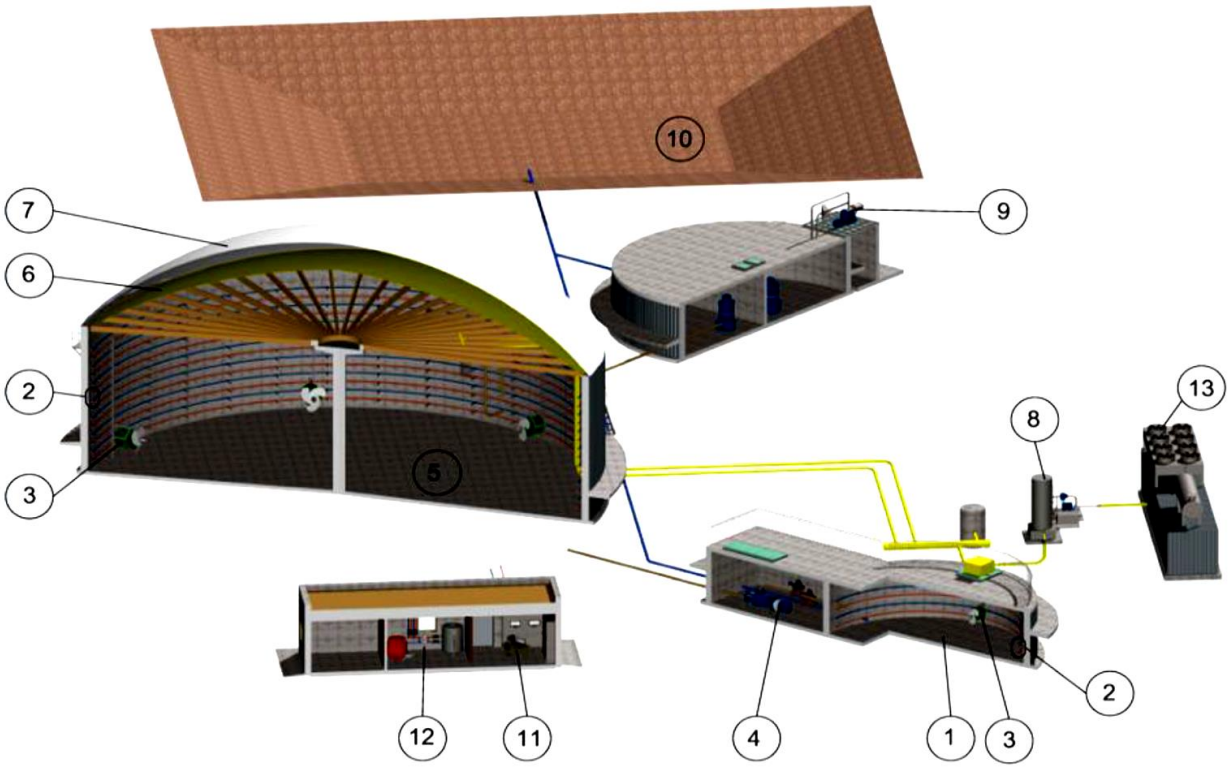


Рисунок 2.1-Схема роботи біогазової установки.

3. Механічні мішалки призначені для поліпшення перемішування біомаси та підвищення швидкості анаеробних процесів її переробки. Складаються з трьох основних частин: валу, приводу і мішалки, Мішалка це робочий елемент пристрою, вона закріплюється на горизонтальному, вертикальному, або на похилому валу. В якості приводу служить електродвигун або редуктор.

4. Система подачі біомаси необхідна для безпосередньої подачі біомаси в ферментатор шнековим завантажувачем. Бункер комплектується двома шнеками з системою плавного пуску, завдяки чому відбувається економія електроенергії. Збільшують продуктивність спеціальні скребки з регульованими ножами.

5. Ферментатор (біогазовий реактор) – ємність де відбувається

зброджування біомаси в певних умовах без доступу кисню. Ферметатор – основа будь-якої біогазової установки, тому до його конструкції висуваються досить жорсткі вимоги. Корпус біогазового реактора повинен бути досить міцний при абсолютній герметичності його стінок. Обов'язковими є надійна теплоізоляція стінок та їх властивість протистояти корозії. Особливістю ферментаторів, як штучних екосистем, є: високі концентрації органічних речовин, відносно швидке споживання їх мікроорганізмами при постійному надходженні органічних речовин і рівномірне їх перемішування, а також постійна оптимальна температура. Ці умови призводять до масового розвитку всіх організмів ланцюга анаеробного розкладення органічних речовин, включаючи і метаногенні бактерії.

6. Газгольдер призначений для зберігання і видачі газів в систему газовідведення і газоподачі, а так само для отримання стабільності вихідного газового тиску, крім цього він виконує функцію буферного пристрою для запобігання нестабільності в отриманні та споживанні газу.

7. Купол виготовляють з розтягуємого матеріалу, тому можна наочно бачити заповнення газгольдера (в даний час за рівнем розтягування купола стежать датчики), і основна його функція це запобігання виходу неприємного запаху за межі ферментатора і відповідно виходу газу.

8. Система газовідведення і газоподачі з системою відведення конденсату і сіркоочистки призначена для відведення біогазу з газгольдера безпосередньо на когенераційну установку

9. Сепаратор - пристрій для поділу перебродженої маси на рідку і тверду фракції. Перебродженa маса подається за допомогою насоса через патрубок або надходить довільно в завантажувальну камеру. З завантажувальної камери за допомогою шнека змінного кроку суміш надходить в камеру для сепарування. Ця камера являє собою циліндричне сито, в ній за допомогою віджиму відбувається поділ твердої і рідкої фракцій. Тверда фракція через розвантажувальний пристрій накопичується в накопичувальному контейнері. Рідка фракція зливається в накопичувальний резервуар через зливний парубок.

10. Лагуна або резервуар для зберігання рідких добрив це ємність вирита в землі або наземна споруда металевої або залізобетонної конструкції, герметично закрита і має спеціальні міксери для періодичного перемішування осаду від рідкого добрива.

11. Система автоматики, візуалізації процесів і управління призначена для повного контролю біоенергетичної установкою без участі додаткового персоналу. Основні функції системи:

• контроль завантаження та вивантаження резервуарів за допомогою: витратоміра, вагів, датчиків рівня, реле датчиків рівня, датчиків надмірного тиску субстрату;

• контроль рівня за допомогою електродних датчиків;

• перемішуванням субстрату за допомогою контролюючих пристроїв (контролера);

• контроль температури в приймальному резервуарі і ферментаторі;

• контроль системи обігріву;

• контроль якості і кількості біогазу за допомогою витратоміра біогазу;

• контроль тиску біогазу за допомогою датчиків тиску.

12. Теплопункт являє собою комплекс пристроїв, розташований у відокремленому приміщенні або приміщенні управління і автоматики, що складається з елементів теплових енергоустановок, що забезпечують приєднання цих установок до системи обігріву. У теплопункті здійснюється управління режимами теплоспоживання, перетворення, регулювання параметрів теплоносія.

13.Когенераційна установка складне технологічне обладнання, призначене для одночасного вироблення тепла і електричної енергії. До енергетичної одиниці когенераційної установки входять такі основні вузли та компоненти:

• Двигун внутрішнього згоряння;

• Генератор;

• Система теплообмінників;

• Система управління. [11, 14].

Принцип роботи біогазової установки передбачає максимальну автоматизацію і зведення до мінімуму витрат людської праці. У приймальному резервуарі (1), куди надходять гноєві стоки відбувається їх накопичення, перемішування (3) і підігрів (2). Далі, сировина надходить в ферментатор (5) 4-6 разів на добу за допомогою насоса для рідких субстратів. Ферментатор (5) є газонепроникним, герметичним резервуаром. У ферментаторі живуть бактерії, які споживають біомасу. Продуктом життєдіяльності бактерій є біогаз. Для підтримки життя бактерій потрібні: подача корму, підігрів до 35-38 °С і періодичне перемішування.

Для підтримки стабільної температури, всередині ферментатор обладнується системою обігріву днища і стін (2). У холодному кліматі, щоб уникнути втрати тепла, ферментатор теплоізолюється зовні. Субстрат постійно перемішується за допомогою низькошвидкісних механічних мішалок (3), завдяки ним відбувається ретельне і дбайливе перемішування. Залежно від виду субстрату і його властивостей використовують різні системи перемішування: гідравлічні, механічні, пневматичні.

Завантаження і вивантаження перебродженого субстрату відбувається з однаковою періодичністю, і все це відбувається автоматично. Вся робота і управління на біогазовій станції відбувається за допомогою автоматики (11). Біогаз накопичується в газгольдері (6), так як він виконується функцію акумулювання. Зовнішній купол (7) має високу стійкість до ультрафіолету, стійкий до підпалу і є надзвичайно розтяжним. Схема біогазової установки передбачає високу еластичність цього елемента і надійну фіксацію конструкції. Для запобігання перевищення тиску газгольдера вище допустимого він укомплектований запобіжним клапаном, який починає спрацьовувати при тиску 5 mbar і випускає біогаз в атмосферу. По трубопроводу (8) відбувається відведення біогазу (трубопровід обладнанується системою відбору конденсату).

Безперервна подача газу з газгольдера (6) йде на когенераційну установку, а саме на очищення, а потім на компресор і в газовий двигун.

Компресор, слугує для підняття тиску біогазу до 80-100 mbar перед подачею в когенератори. Відповідно до технічних норм для захисту від вибухів,

компресори для ущільнення газу повинні бути або газонепроникні або перебувати в капсулі під тиском.

Для використання в якості палива біогаз в деяких випадках слід очищати до рівня якості природного газу.

Перший крок з очищення газу включає первинне фільтрування, після цього слідує очищення від сірки, і в кінці-кінців очищення від вуглекислого газу.

Для очищення біогазу від сірководню здебільшого використовують безупинну біокаталітичну технологію.

Стандартні методики ґрунтуються на хімічних реакціях, що протікають у рідкій фазі, фізичній абсорбції і наступній хімічній конверсії. Вони мають декілька недоліків: велика витрата реагентів, корозія устаткування, застосування високої температури і тиску тощо. У результаті такі технології мають дуже високу ціну. Альтернативою для здешевлення такого роду технологій є застосування біокаталітичної безреагентної технології (рис. 2.2) [14]. У скрубері сірководень взаємодіє зі слабколужним розчином (pH 8.0…8.5), в якому відбувається абсорбція H_2S. Потім рідина зі скрубера надходить у мікроаеробний реактор, що містить клітини бактерій, які у м'яких умовах окислюють сульфід до елементарної сірки з регенерацією слаболужної рідини для повернення в скрубер. Елементарна сірка видаляється, і рідина повертається в скрубер для абсорбції наступної порції H_2S.

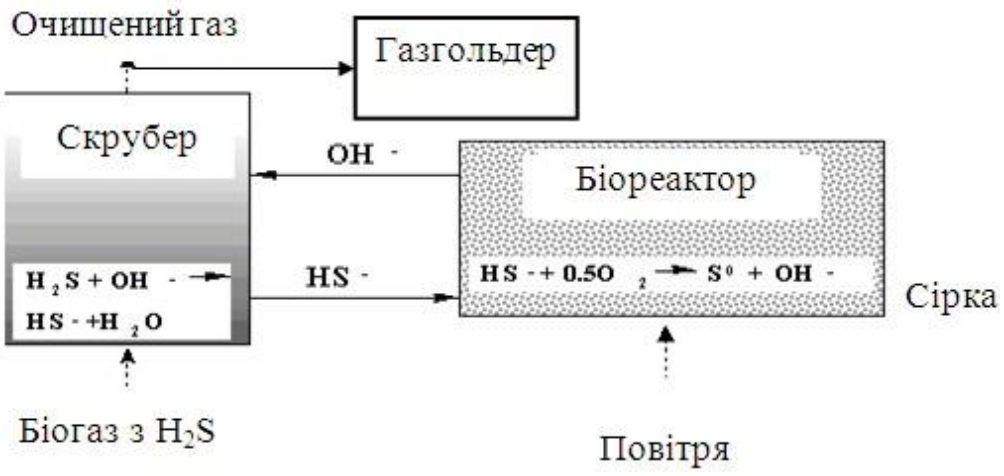


Рисунок 2.2 − Технологічна схема біокаталітичної технології очищення біогазу від сірководню

Переваги запропонованої технології порівняно з традиційними методами:

- практично безреагентний характер (необхідні тільки деякі солі для життєдіяльності бактерій);
- дешевизна;
- практично замкнутий цикл і мінімум стічних вод;
- основний кінцевий продукт (сірка) може бути легко повторно використаний (для виробництва сірчаної кислоти);
- процес проходить при температурі (15…25)°С і нормальному тиску [14].

На практиці в порівняно невеликих біогазових установках сірка видаляється з біогазу наступним чином [11]:

1. Додавання повітря 2-4% в біогаз під купол газгольдеру. Метод використовується при концентрації H_2S 600-800 ppm. Концентрація сірководню після очищення 30-80 ppm (вимога заводів виробників генераторів біля 230 ppm). При взаємодії сірководню з киснем повітря утворюються діоксид сірки і вода

2. При вмісті в біогазі сірководню вище 800 ppm, використовують додавання в сировину сполук заліза ($Fe(OH)_2$, $Fe(OH)_3$, FeO). Метод використовується лише для грубої очистки. При взаємодії сірководню з сполуками заліза утворюється нерозчинна сіль – ферум (II) сульфід та вода.

3. Для більш тонкого очищення біогазу від сірководню застосувується колонна з активованим вугіллям. Завантаження в колоні міняється кожні 100 днів.

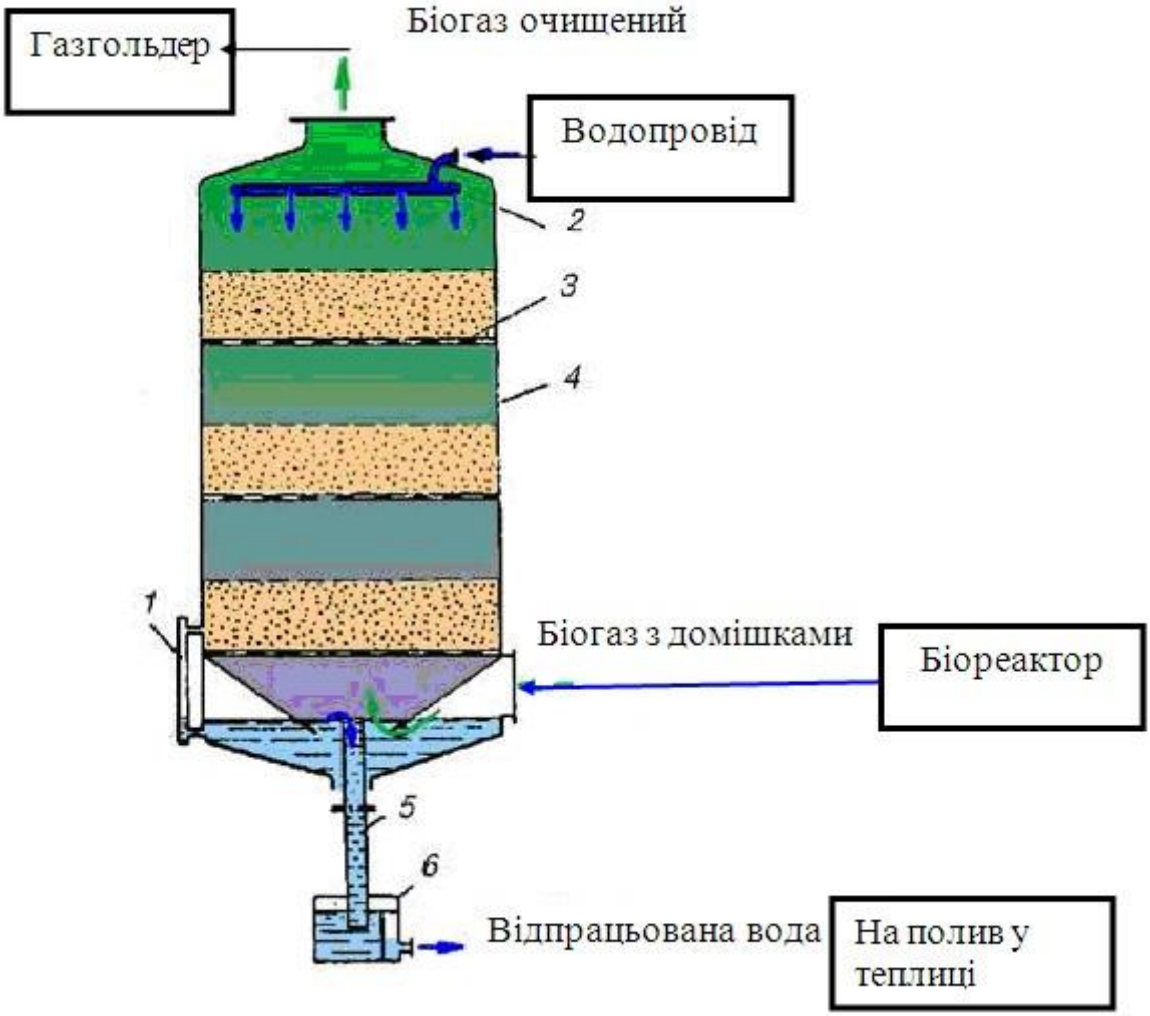
Очищення від вуглекислого газу на практиці застосовують лише для отримання збагаченого біогазу (біометану).

Для очищення від вуглекислого газу застосовують метод промивання під тиском. Вуглекислий газ завжди більше розчиняється в воді ніж метан і тим самим може бути відділений. При невисоких парціальних тисках розчинність CO_2 у воді невелика, але зі збільшенням тиску вона зростає. При подальшому зниженні тиску розчинений діоксид вуглецю виділяється з розчину.

Водяне очищення газу від діоксиду вуглецю під тиском ефективне при високому вмісті CO_2 у газі. Цей спосіб відрізняється простотою і дозволяє багаторазово використовувати оборотну воду.

У технічній оборотній воді, що використовується для водневого очищення від CO_2, містяться розчинені солі, що знижують розчинність CO_2 у технічній воді порівняно з чистою.

Для очищення біогазу від домішок можна використовувати газопромивач, принципово-технологічну схему якого наведено на рис. 2.3.



1 – водомірне скло; 2 – розподілювач; 3 – колосникові решітки; 4 – чавунні царги; 5 – переливна труба; 6 – збирач

Рисунок 2.3 − Принципово-технологічна схема водяного очищення біогазу від домішок:

Суттєве значення для економічності процесу водяного очищення має витрата води на очищення і витрата енергії на подачу цієї води. Витрата води на

очищення біогазу від діоксиду вуглецю залежить від ступеня очищення від CO_2, температури, загального і парціального тиску CO_2 у газовій суміші до очищення. Якщо біогаз у процесі конверсії одержують при атмосферному тиску, то перед водяним очищенням газ стискають. Вибір тиску для водяного очищення від CO_2 залежить від декількох факторів. Зі збільшенням тиску зростає розчинність вуглекислого газу у воді і зменшується кількість води необхідної для промивання майже обернено пропорційне тиску. При цьому знижується витрата енергії для подачі води. З іншого боку, робота на стискування діоксиду вуглецю від початкового низького тиску до тиску абсорбції зі збільшенням тиску зростає. Сумарна витрата енергії на водневе промивання газу в межах 1 – 3 МПа практично не залежить від тиску. Однак зі збільшенням тиску зменшуються розміри абсорбера і зростає ступінь очищення газу від CO_2.

Перебродженa маса - це біодобрива, готові до використання. Для поділу перебродженої маси на тверду і рідку фракції, субстрат надходить на сепаратор. Система сепарування працює 4-6 разів на добу.

Рідка фракція містить у середньому: органічної речовини – 0,25 %; фосфору – 0,05 %; азоту – 0,31 %. Показник pH рідкої фракції – 6,5-8,3 [8].

Оскільки вона містить значну кількість поживних речовин то може використовуватись як рідке органічне добриво, а також може бути субстратом для вирощування гідробіонтів (мікроводоростей) і частіше спіруліни (синє- зеленої водорості), яка в свою чергу є цінною білковою і вітамінно-мікро- мінеральною кормовою добавкою до раціонів сільськогосподарських тварин, а також сировиною для фармацевтичної промисловості.

Тверді відходи з вологістю біля 70 % – можуть безпосередньо вноситись на поля в якості органічного добрива.

Великі біогазові установки мають аварійні факельні установки (для аварійного спалення біогазу).

Спрощена технологічна схема роботи біогазової установки показана на рисунку на рисунку 2.4.

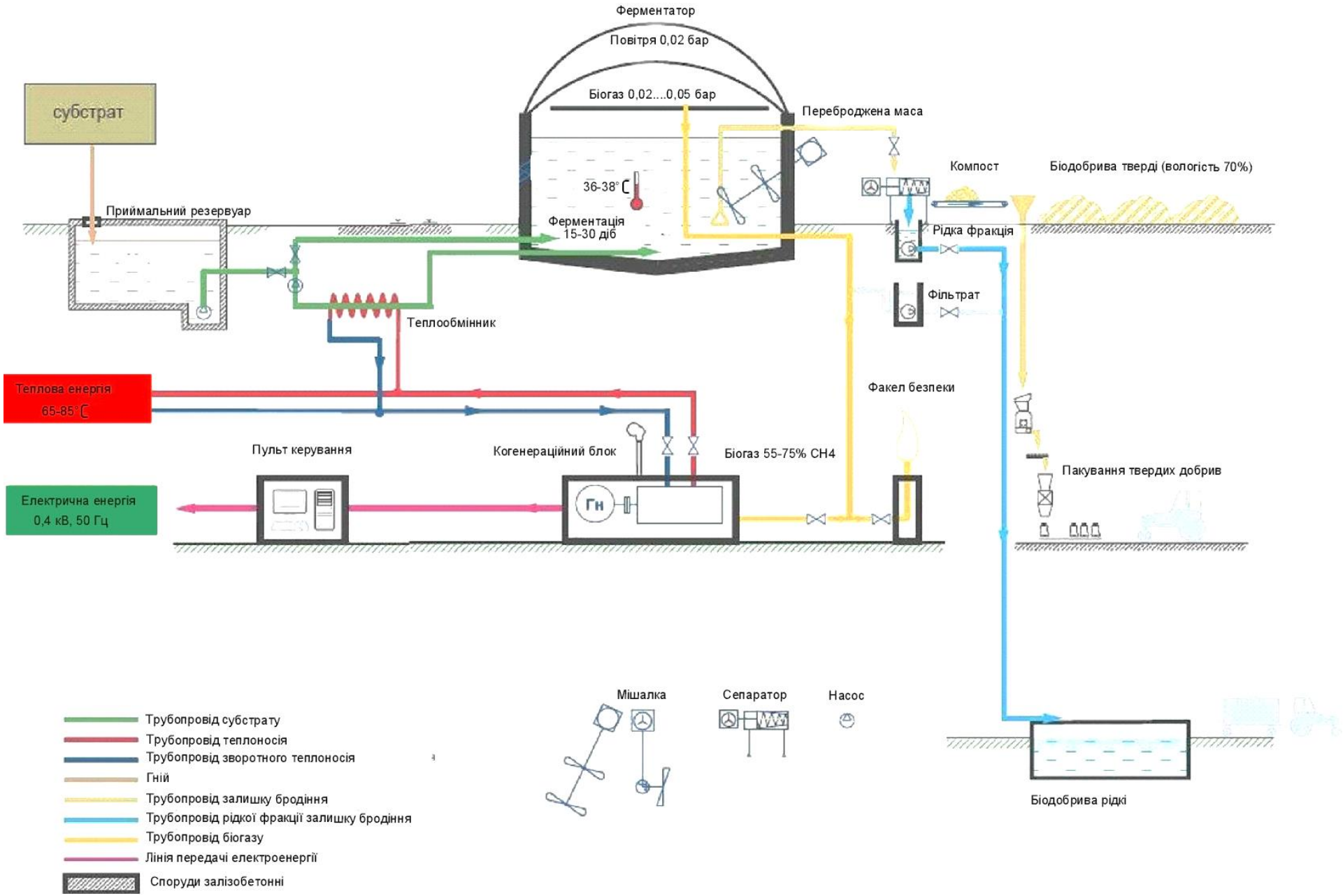


Рисунок 2.4 - Спрощена технологічна схема роботи біогазової установки

Ілюстрована схема роботи когенераційної установки показана на рис. 2.5.

Принцип отримання електричної енергії полягає в обертанні електричного генератора завдяки турбіні. Сама турбіна приводиться в рух парою, яка утворюється в процесі згорання палива.

Звичайна установка, яка виробляє електрику, має великі втрати енергії за рахунок безглуздого викиду тепла в простір, ефективність подібного методу складає близько 50%.

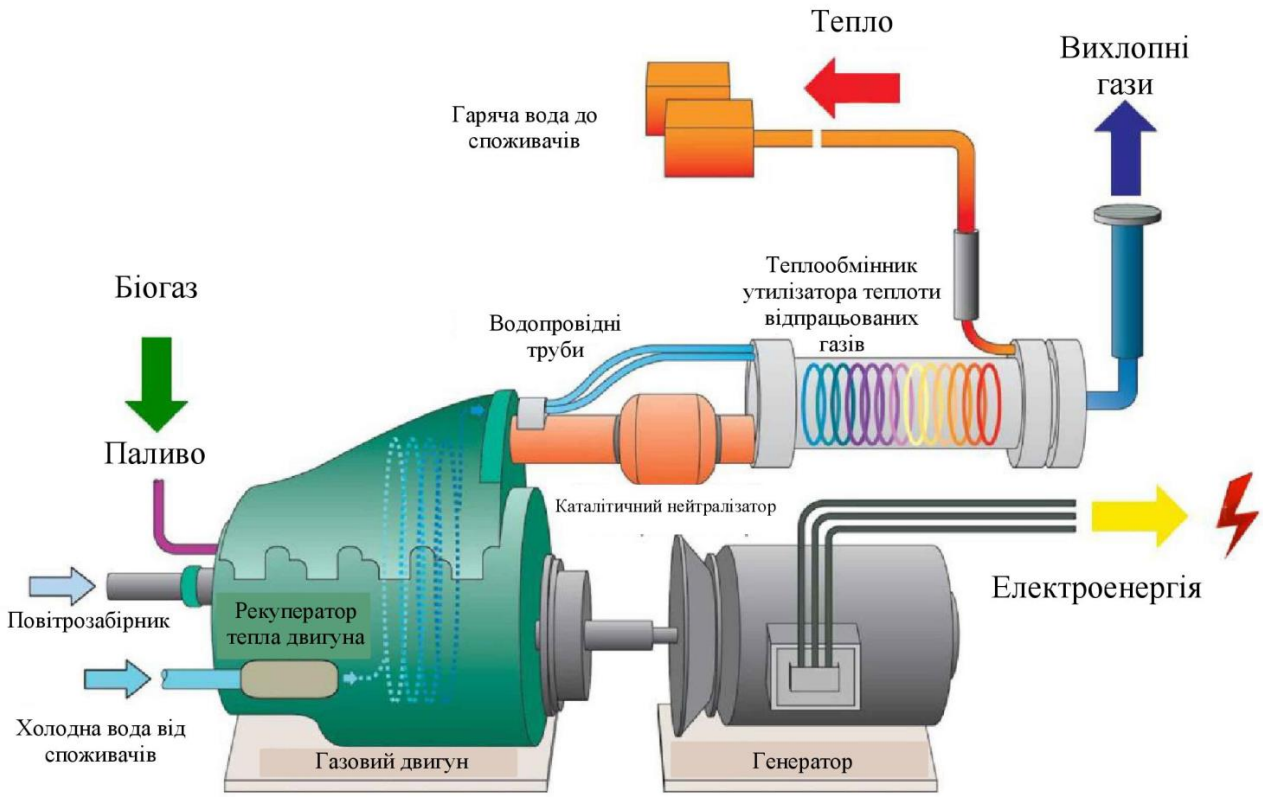


Рисунок 2.5 -Схема когенераційної установки.

Когенерація має схожий принцип роботи, тобто, електрогенератор отримує енергію обертання завдяки газотурбінному приводу або поршневому двигуну внутрішнього згоряння. Після того, як згорання палива відбулося, і електрогенератор отримав силу обертання, теплова енергія не викидається даремно, а передається для подальшого використання через: воду для охолодження двигуна (потрапляє в теплообмінник для охолодження), відпрацьований газ (теплова енергія виводиться через теплообмінник опалення), теплове випромінення (отримують через вентиляційну установку).

Когенераційні установки на базі газових двигунів внутрішнього згоряння є децентралізованими джерелами енергії. Тобто виробництво електроенергії і тепла здійснюється в безпосередній близькості від місця їх споживання.

Електроенергія, вироблена когенераційною установкою, вживається для потреб об'єкта або продажу. Тепло когенераційних установок використовується для опалення об'єктів, підігріву води і в технологічних цілях.

2.2 Визначення шляхів інтенсифікації виробництва біогазу

Для збільшення виходу біогазу в результаті анаеробного бродіння субстрату в біогазовій установці широко застосовується процес перемішування суміші. Перемішування інтенсифікує процеси всередині біореактора та запобігає утворенню осаду і плаваючої кірки на поверхні біомаси, що призводить до збільшення утворення біогазу із органічних відходів, а, отже, і до зростання ефективності біогазової установки. Відомо механічне, гідравлічне і аеродинамічне перемішування сумішей.

Системи гідравлічного перемішування використовують як правило відцентровий насос, що буде також відповідати за наповнення ферментатора зі змішувального (приймального) резервуару, та перекачування з резервуару збрігання. Ці функції здійснюються шляхом зміни напрямку руху субстрату за допомогою запірного шиберу. Перекачування повинно відбуватись таким чином щоб вміст ферментатора по можливості повністю перемішувався. Для цього використовують змішувальні воронки, які обертаються в горизонтальне чи вертикальне положення. Гідравлічне перемішування має переваги в тому що в ферментаторі відсутні рухомі зношувальні деталі. Вони знаходяться за межами резервуару та доступні для обслуговування. Використання гідравлічного перемішування обмежується лиш легко текучими субстратами, для яких не характерно утворення плаваючої кірки та осадкових нашарувань.

Пневматичне перемішування здійснюється через пресування біогазом. Бульбашки газу, які будуть підійматися створюють вертикальне перемішування

субстрату. Такий тип перемішування годиться лише для субстрату, для якого не важливе повне перемішування, щоб досягти ефекту гігієнізації.

Найбільш перспективним устаткуванням для інтенсифікації процесу анаеробного бродіння субстрату є біореактори із механічним перемішуванням.

Механічне перемішування сумішей здійснюється лопатевими, пропелерними, турбінними та спеціальними мішалками. Класифікацію перемішувальних пристроїв для біогазових реакторів наведено на рис. 2.6



Рисунок 2.6 − Класифікація перемішувальних пристроїв для біогазових реакторів

Турбінні мішалки оснащено лопатями, і вони мають чітко окреслений ротор. Залежно від способу кріплення лопатей і їх конфігурації в анаеробній біоконверсії зустрічаються різні типи турбінних мішалок. Найбільш простою та одночасно високоефективною є мішалка з прямими радіально розміщеними лопатями. Плоскі лопаті можуть бути нахилені під певним кутом відносно площини обертання мішалки для кращого перемішування субстрату.

Пропелерні мішалки вважаються найбільш ефективними в тих випадках, коли необхідно створити значну циркуляцію субстрату в біогазовій установці при мінімальній витраті механічної енергії. Вони виконують цю задачу краще, ніж мішалки іншого типу, наприклад, турбінні. Пропелерні мішалки створюють осьову циркуляцію органічних відходів всередині реактора за рахунок насосного ефекту, тому вони легко піднімають тверді частинки з його дна.

Лопатеві мішалки почали першими використовуватись в системах біоконверсії та в хімічній промисловості взагалі. На сьогодні вони використовуються у тих випадках, коли немає необхідності в інтенсивній радіально-осьовій циркуляції органічної суміші в біогазовій установці. Основною перевагою лопатевих мішалок є їх простота та низька вартість.

Якірні та рамні мішалки вирізняються виключно низьким числом обертів. Діаметр таких мішалок наближається до діаметра біогазового реактора, а зазор між лопаттю та стінкою реактора є незначним. Таким чином, у випадку застосування цих мішалок можна уникнути місцевого перегріву субстрату чи виникнення осаду на дні реактора.

Шнекові мішалки працюють за тим принципом, що і пропелерні, але при менших числах обертів. Вони застосовуються для перемішування сумішей значної в'язкості, зокрема для органічного субстрату всередині біогазової установки. В цьому випадку вони затрачають менше енергії, ніж пропелерні мішалки для створення однакової циркуляції субстрату в біореакторі.

Використання дискових та скребкових мішалок в процесах біоконверсії є неефективним, тому майже не застосовується.

2.3 Висновок до розділу

Узагальнюючи вищевикладене можна сказати, що на інтенсивність виробництва біогазу в біогазових установках впливають:

- температурний та pH режими;
- хімічний склад та розміри частинок субстрату;
- тиск газового середовища в реакторі;
- концентрація мікроорганізмів всередині реактора;
- спосіб та ефективність перемішування бродильного середовища;
- швидкість завантаження біомасою реактора;
- тривалість бродіння (час утримання субстрату в реакторі);
- наявність живильних та отруйних речовин.

Мішалки ферментатора, як фактор інтенсифікації анаеробних процесів, з метою оптимізації енергоспоживання повинні бути приведені в відповідності з геометричною формою резервуару і особливостям субстрату. Для субстратів з яскраво вираженою схильністю до розшаровування краще всього підходять централізовані вмонтовані в перекриття штативні міксери розраховані на тривалі цикли роботи (низько оборотні мішалки) в порівнянні з занурювальними мішалками (як правило високо оборотними).

3. СХЕМНО-КОНСТРУКТИВНІ РІШЕННЯ БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ ТА БІОРЕАКТОРА ДЛЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОЇ БКУ І АНАЛІЗ ВАРІАНТІВ ЇЇ РОБОТИ

3.1 Розрахунок енергетичного потенціалу виробництва біогазу

Після розгляду способів отримання біогазу, умов для його найбільшого виходу можна говорити про те яка технологія може бути застосована до нашого об'єкту дослідження – свинокомплексу ТОВ «Марлен-КД». В якості вихідної сировини буде використовуватися безпідстилковий гній, утворений внаслідок самосплавного видалення при технології утримання свиней на щілинній підлозі, в кількості 308,4 тон/добу, вологістю 93 %. Далі приймемо найпоширеніший метод бродіння рідкого субстрату це проточний метод, за яким субстрат подається невеликими порціями протягом дня. Далі вибираємо одноступінчастий процес розщеплення субстрату, він оптимальний для даного виду субстрату. Температурний режим – мезофільний (36-38 ºС).

Так само для того щоб створити оптимальні умови необхідно підібрати необхідне обладнання.

До найбільш значущих параметрів системи анаеробного зброджування гнойової біомаси належать: добова продуктивність реактора або його здатність пропускати кількість гною, який виходить з ферми; добовий обсяг завантаження бродильної камери; об’єм реактора БГУ; добовий та річний вихід біогазу залежно від хімічного складу гнойової біомаси та ін.

Добова продуктивність реактора, або його пропускна здатність щодо вихідного гною визначається за кількістю вихідної гнойової біомаси за формулою [9]:

$$G_{доб.} = \frac{Q_{Г.РІЧН.}}{t_{РІЧН.} - t_З}, \quad (3.1)$$

де $G_{доб.}$ – добова продуктивність щодо вихідного гною, т/добу;

$Q_{г.річн.}$ – річна кількість утвореної гнійної біомаси на підприємстві, т;

$t_{річн.}$ – кількість діб у році (365);

$t_з$ – тривалість випуску й обслуговування реактора, діб (у середньому 20 діб).

Добова продуктивність реактора складе:

$$G_{доб.} = \frac{112566}{365-20} = 326{,}3 тон/добу$$

Вміст сухої речовини в добовій кількості безпідстилкового гною, що надходитиме в реактор, складе:

$$P_{а.с.р.} = \frac{326{,}3 \cdot (100-93)}{100} = 22{,}8 тон/добу$$

Добове завантаження ферментатора безпідстилковим гноєм в перерахунку на суху органічну речовину складе:

$$О_{доб.р} = 22{,}8 \times_{.} 0{,}8 = 18{,}2 \text{ т.}$$

Кількість неорганічної речовини в гнійній біомасі добового завантаження реактора, складе:

$$О_{н.р} = 22{,}8_{.} - 18{,}2 = 4{,}6 \text{ т.}$$

Виходячи з питомої ваги 1 м^3 гною за вологості 93 %, $q_г$ = 1,030 м^3/тонну, добовий обсяг завантаження ферментатора складе:

$$Q_{доб.} = 326{,}3 \text{ тон/добу} \cdot 1{,}030 \text{ м}^3\text{/тонну} = 336{,}1 \text{ м}^3\text{/добу.}$$

Рентабельність біогазового виробництва значною мірою залежить від об’єму бродильної камери. При її проектуванні перш за все враховується кількість гнойової біомаси, яка підлягає утилізації, та режим роботи БГУ. Об’єм бродильної камери визначається за формулою:

$$V_К = \frac{Q_{доб.} \cdot 100}{pq} \qquad (3.2)$$

де $V_к$ – місткість бродильної камери, м^3;

$Q_{доб.}$ – добовий обсяг завантаження ферментатора, м^3;

p – добова доза завантаження, %; (для мезофільного процесу – 7 %);

q – коефіцієнт заповнення камери (у межах 0,8-0,95).

Об’єм бродильної камери складе:

$$V_{K.} = \frac{336,1 \cdot 100}{7 \cdot 0,95} = 5054 м^3$$

Тривалість бродіння визначається шляхом ділення об’єму бродильної камери на добовий обсяг завантаження ферментатора:

$$\tau_{бр} = V_к \ / Q_{доб.} = 5054 / 336,1 = 15 \text{ діб} \quad (3.3)$$

Теоретичний вихід біогазу на стадії найбільш інтенсивного метаногенезу залежить від хімічного складу біомаси, та становить 0,3-0,7 м^3 з 1 кг сухої органічної речовини, при вмісті метану 50-70 % [11,13].

Добовий вихід біогазу розраховується за формулою (20) [11] з врахуванням вмісту в гнойовій біомасі органічної речовини:

$$V_г = P_{а.о.р.} \cdot К \cdot \rho, \quad (3.4)$$

де $V_г$ – добовий вихід біогазу, м^3;

$P_{а.о.р.}$ – добова кількість органічної речовини, кг;

ρ – вихід біогазу з 1 кг органічної речовини 0,7 м^3;

К – коефіцієнт зброджування органічної речовини (0,7).

Добовий вихід біогазу з гнойової біомаси свинокомплексу закритого типу ТОВ «Марлен-КД» складе:

$$V_г = 1000 \cdot 18,2 \text{ т/добу} \cdot 0,7 \cdot 0,6 \text{ м}^3/\text{кг} = 7644 \text{ м}^3/\text{добу}.$$

Річний вихід біогазу з гнойової біомаси свинокомплексу закритого типу ТОВ «Марлен-КД» складе:

$$V_{г.річн.} = 7644 \cdot (365 – 20) = 2637180 \text{ м}^3/\text{рік}.$$

При цьому об’ємний вміст компонентів біогазу приймаємо:

- метану (CH_4), - 60 %;
- діоксиду вуглецю (CO_2), - 38 %;
- сірководень, пари води та інші домішки, - 2 %.

Нижча теплота згоряння біогазу приймається $Q_н^р$ = 21 МДж/м^3 чи 5,83 кВт/ м^3 [14].

Повна теплова енергія ($Q_{БГУ.повн.}$), яка виробляється БГУ, визначається

наступним чином:

$$Q_{БГУ.повн.} = V_{г.річн.} \cdot 21 \text{ МДж} = 2637180 \text{ м}^3/\text{рік} \cdot 21 \text{ МДж/ м}^3 = 55380780 \text{ МДж/рік}$$

Енергетичний потенціал виробництва біогазу шляхом утилізації рідкого гною на свинокомплексі ТОВ «Марлен-КД» представлений в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Енергетичний потенціал виробництва біогазу шляхом утилізації рідкого гною на свинокомплексі ТОВ «Марлен-КД».

Субстрат	Прод-ть за добу	К-ть за рік	СР (%)	СР (т/добу)	оСР (%)	оСР (т/добу)	Вихід біогазу ($м^3$/т оСР)	Вихід біогазу ($м^3$/добу)	Вміст мета-ну (%)	Об'єм біогазу ($м^3$/рік)	Повна теплова енергія біогазу, МДж/рік
Рідкий гній свинокомплексу закритого типу	326,3	112566	7	22,8	80	18,2	430	7644	60	2637180	55380780

Після зброджування гнійної біомаси і одержання біогазу, залишається тверда фракція гною (шлам) і надосадова рідина (рідка фракція).

З 1 кг органічної речовини, біологічно розкладеної на 70 %, отримуємо в середньому: 0,50 кг біогазу (при густині 1,17 кг/$м^3$), 0,2 кг води і 0,3 кг нерозчепленого залишку шламу.

Тобто з 18,2 тон на добу органічної речовини безпідстилкового гною отримується:

- води, - 18,2 × 0,2 = 3,6 тон/год;
- сухої органічної речовини, - 18,2 × 0,3 = 5,5 тон/год

Кількість вологи та сухої речовини, враховуючи наявність в безпідстилковому гної сухої неорганічної речовини, складе:

- води, - (326,3 – 22,8) +3,6 = 307,1 тон/год;
- сухої (органічної + неорганічної) речовини, - 4,6 +5,5 = 10,1 тон/год.

Загальна кількість зброджeної маси (шламу) на виході з ферментатора складе: 307,1 + 10,1 = 317,2 тон/добу

Вологість зброджeної маси на виході з ферментатора складе:

317,2 – 100 %

307,1 – х % х = 307,1 × 100 / 317,2 = 96,8 %

При зброджуванні гною в ньому зберігаються необхідні для рослин біогенні елементи (N, P, K) і поживні речовини знаходяться в більш доступній формі, що забезпечує підвищену біологічну активність шламу як органічного добрива.

Після ферментатора зброджена маса направляється на сепаратор, після якого отримується два продукти: освітлена фракція вологістю 99 %, «тверда» фракція вологістю 70 %.

Добовий вихід «твердої» фракції після сепаратора визначається за формулою:

$$M_{тв.ф.доб.} = Q_{з.м.доб.} \cdot \frac{W_q - W_Г}{W_q - W_Ш}, \quad (3.5)$$

де $M_{тв.ф.доб.}$ – добова маса «твердої» фракції, т;

$Q_{з.м\ доб.}$ – добовий вихід зброджeної маси після ферментатора, т;

W_q – вологість рідкої фракції, % (99 %);

$W_г$ – вологість зброджeної маси, що поступає на сепаратор, % (96,8 %);

$W_ш$ – вологість «твердої» фракції, % (70 %).

Добовий вихід «твердої» фракції після сепаратора складе:

$$M_{тв.ф.доб.} = 317,2 \cdot \frac{99 - 96,8}{99 - 70} = 24,1 тон$$

Відносний вихід «твердої» фракції:

$$M_{тв.ф.доб.} = \frac{M_{тв.ф.доб.} \cdot 100}{Q_{з.м.доб.}} \quad (3.6)$$

Відносний вихід «твердої» фракції:

$$M_{тв.ф.доб.} = \frac{24,1 \cdot 100}{317,2} = 7,6\%$$

Річний вихід «твердої» фракції, виходячи з тривалості роботи БГУ на протязі 345 діб/рік, складе:

$$M_{тв.ф.рік.} = 24,1 \cdot 345 = 8314,5 тон$$

Добовий вихід рідкої фракції визначається за формулою:

$$M_{q.доб.} = Q_{з.м.доб} \cdot \frac{W_Г - W_Ш}{W_q - W_Ш}, \quad (3.7)$$

де $M_{q.доб.}$ – добова маса рідкої фракції, т.

Добовий вихід рідкої фракції після сепаратора складе:

$$M_{q.доб.} = 317,2 \cdot \frac{96,8 - 70}{99 - 70} = 293,1 \text{ тон/рік}$$

Відносна кількість рідкої фракції (%):

$$M_{q.доб.} = \frac{M_{q.доб.} \cdot 100}{Q_{з.м.доб.}} \quad (3.8)$$

Відносна кількість рідкої фракції складе:

$$M_{q.доб.} = \frac{293,1 \cdot 100}{317,2} = 92,4\%$$

Річний вихід рідкої фракції, виходячи з тривалості роботи БГУ на протязі 345 діб/рік, складе:

$$M_{q.рік.} = 293,1 \cdot 345 = 101119,5 тон.$$

Матеріальний баланс виробництва біогазу з гнойової біомаси свинокомплексу ТОВ «Марлен-КД» представлений на рисунку 3.1.

Проаналізувавши пропозиції запропоновані ринком, можна зробити висновок, що при виборі обладнання потрібно орієнтуватися на обсяг сировини, яку для подальшого отримання з неї біогазу та вироблення енергії.

Маючи продуктивність по рідкому гною в 326,3 тон за добу, ми повинні підібрати біоенергетичну установку з завантаженням не менше ніж 350 тонн за добу. З переглянутих біогазових комплексів нам підходить біогазовий комплекс, який пропонує ТОВ «Зорг Біогаз Україна», що переробляє рідкий гній свиней в біогаз з виробництвом біогазу, твердих та рідких органічних добрив.

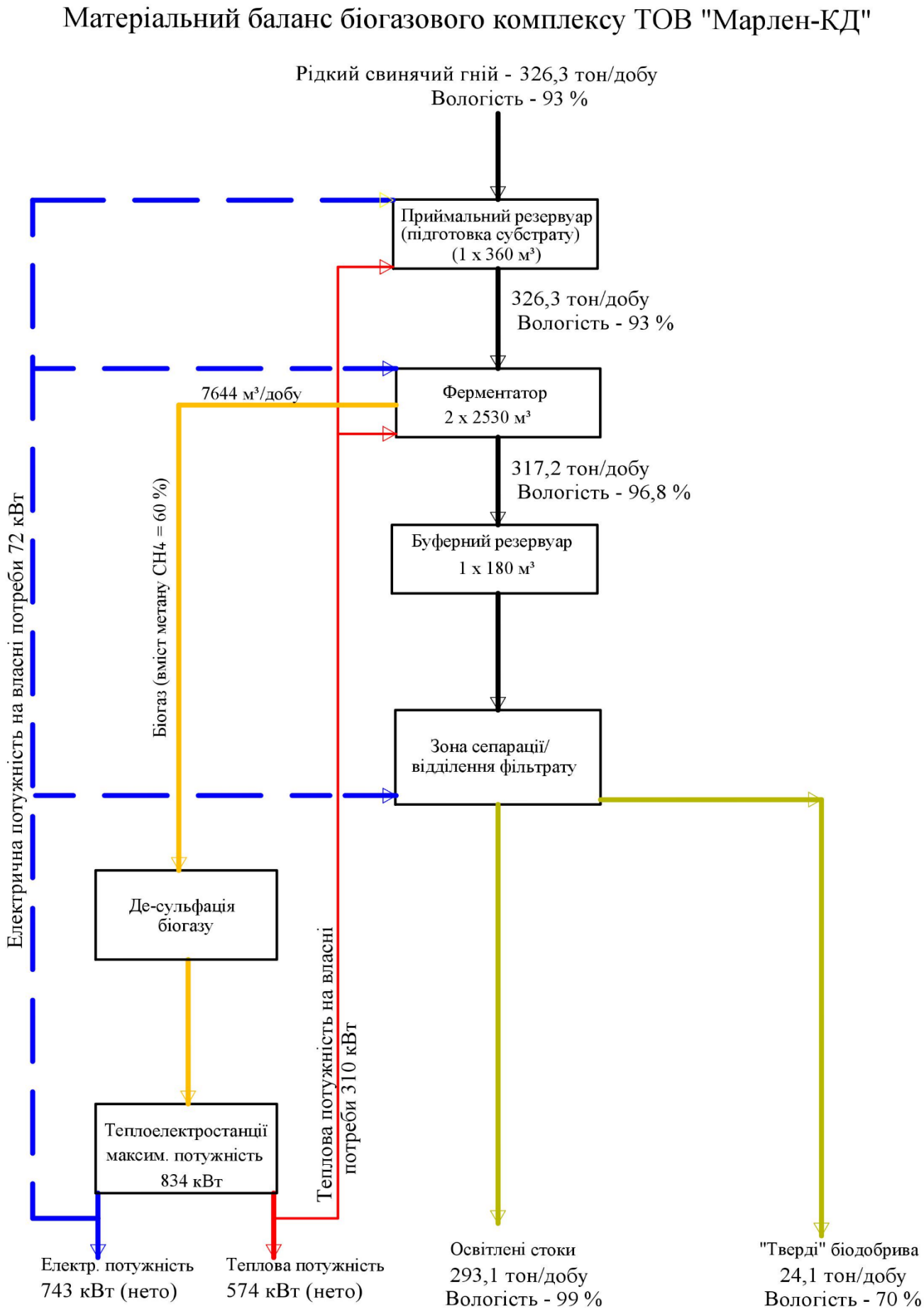


Рисунок 3.1 – Матеріальний баланс біогазового комплексу ТОВ «Марлен-КД»

Технічні характеристики біогазової станції представлені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Технічні характеристики біогазової станції

Характеристики	Од. вим.	Значення
1	2	3
Продуктивність по вхідній сировині	т/добу	326,3
Вологість	%	93
Вихід біогазу	$м^3$/добу	7644
Вміст метану CH4 в біогазі	%	60
Калорійність біогазу (при 60 % CH_4)	ккал	5016
Кількість ферментаторів	шт.	2
Рабочий об’єм 1го ферментатора	$м^3$	2530
Загальний об’єм 1го ферментатора	$м^3$	2660
Кількість газгольдерів	шт.	2
Робоча температура в реакторі	^oC	36 - 38
Робочий тиск в реакторі/газгольдері (надлишковий)	кПа	0,5
Габаритні розміри реактора (діаметр/висота)	м	23/6,4
Обслуговуючий персонал	чоловік	6
Необхідна площа	га	1,0
Вихід твердих біодобрив (70% вологість)	т/добу	24,1
Вихід освітлених стоків (99% вологість)	т/добу	293,1
Характеристики електростанцій		
Електрична потужність електростанції (ко-генератора)	кВт	834
Коефіцієнт корисної дії вироблення електроенергії $ККД_{ел.}$	%	40
Коефіцієнт корисної дії вироблення теплової енергії $ККД_{тепл.}$	%	47,6
Електрична потужність при спалюванні біогазу (брутто)	кВт	743
Теплова потужність електростанцій	кВт	994
Теплова потужність при спалюванні біогазу (брутто)	кВт	884

План розміщення біогазової установки представлений на рисунку 3.2.

Дані щодо обслуговуючого персоналу приведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 - Обслуговуючий персонал

Поз	Посада	Зміна 1	Зміна 2	Зміна 3	Всього
1	Майстер	1	-	-	1
2	Оператор	1	1	1	3
3	Слюсар	1	-	-	1
4	Водій	1	-	-	1
Чисельність обслуговуючого персоналу					6 чол

Експлікація будівель та споруд

№ п/п	Найменування	Площа забудови, м²
1	Приймальний резервуар	86,6
2-3	Ферментатор	471,4
4	Резервуар перебродившого субстрату	43,3
5	Резервуар фільтрату	43,3
6	Дільниця сепарації	84
7	Лагуна	4500
8	Приямок для устаткування	41
9	Технічне приміщення	78
10	Ко-генератор	30

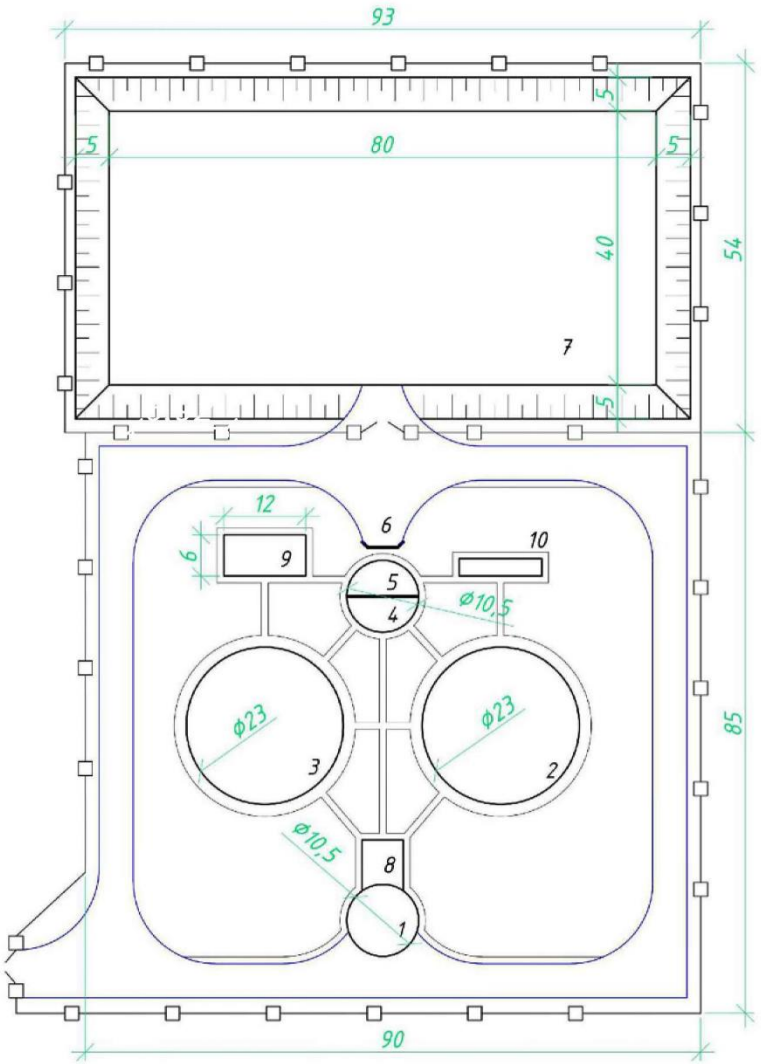


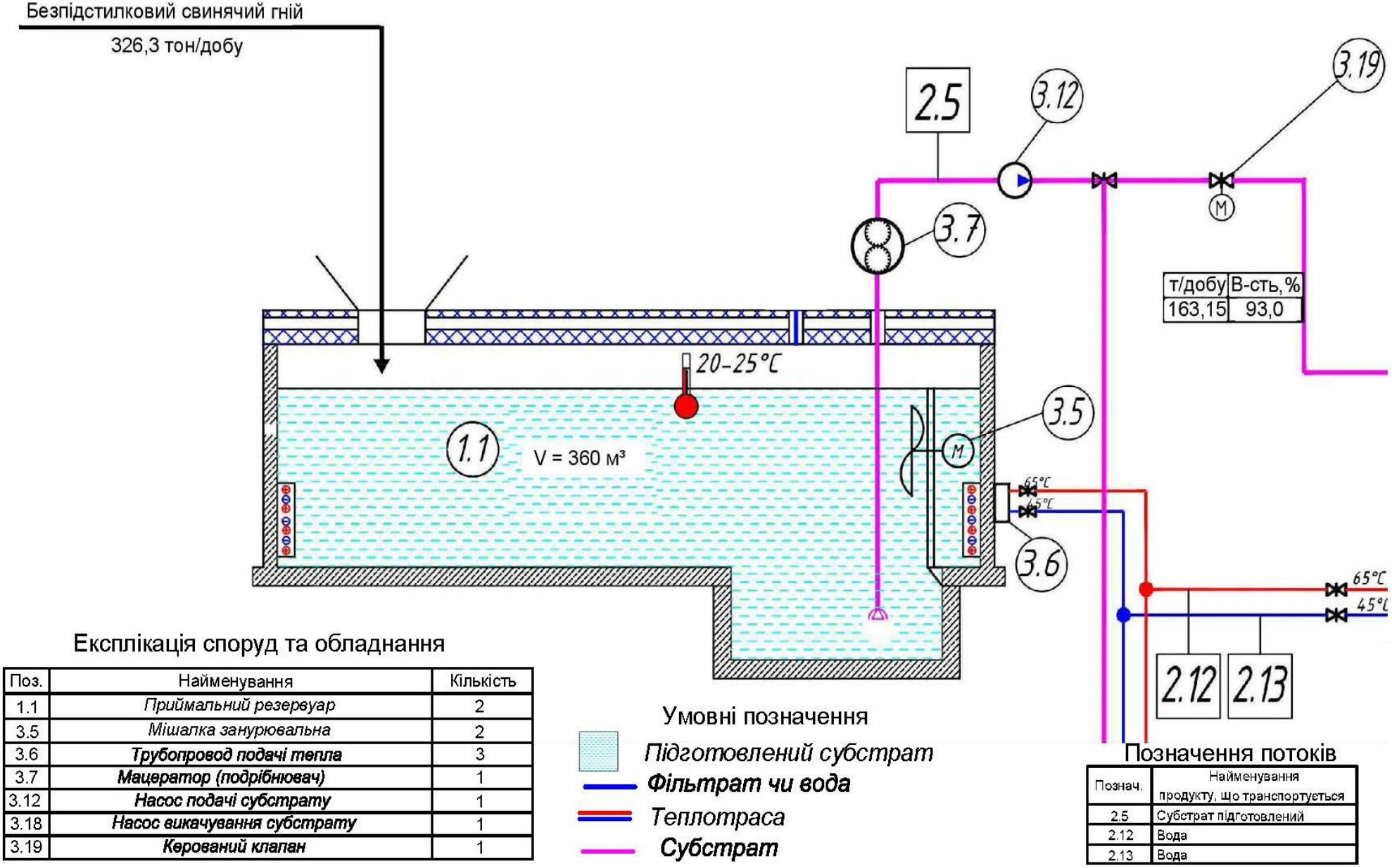
Рисунок 3.2. План розміщення біогазової установки

3.2 Схемно-конструктивні рішення біогазової когенераційної установки

Опис роботи біогазової станції

Безпідстилковий свинячий гній, за допомогою трубопроводу завантажується порційно з інтервалом 4-6 годин в приймальний резервуар (поз. 1.1 (рисунки 3.3-3.6)). Сировина перемішується занурювальними мішалками (поз. 3.5) і нагрівається до температури 20-25ºС за допомогою системи опалення.

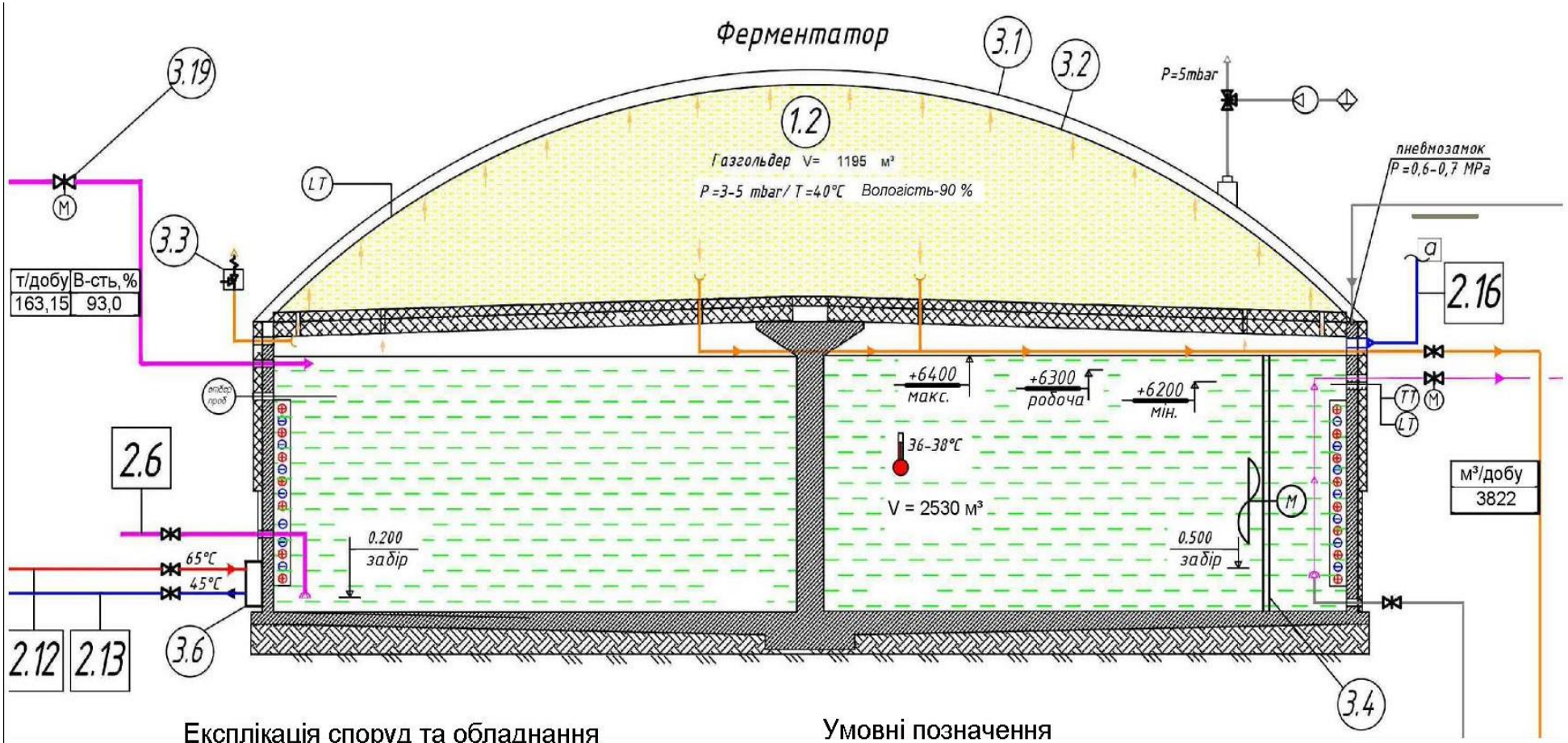
Підготовлений субстрат перекачується в ферментатори (поз. 1.1). У трубопроводі встановлено мацератор (поз. 3.7) для подрібнення нерозчинних частинок і інших включень, які можуть випадково потрапити в загальну масу. Також у трубопроводі встановлено роздатковий клапан, який перемикає потік субстрату і направляє його в кожен ферментатор. Роздатковий клапан керується автоматикою. У ферментаторах субстрат підігрівається до температури 36-38ºС. Система підігріву встановлена на стінках і днищах ферментаторів. Таким чином, в ферментаторах підтримується постійна температура в ході всього процесу зброджування. Ферментатори працюють в мезофільному режимі. Підігрітий субстрат періодично перемішується (кожні 20-25 хвилин на годину) зануреними мішалками. Середній час зброджування в ферментаторах становить 15 діб. Біогаз піднімається вгору і збирається в газгольдерах (поз. 3.2). Обсяг кожного газгольдера - 1195 м^3. Всепогодна захисна плівка (поз. 3.1) захищає газгольдер від опадів і пошкодження сторонніми предметами. Захисна плівка зафіксована завдяки тиску повітря, що нагнітається всередину повітродувкою. Для запобігання перевищення тиску газгольдерів вище допустимого вони укомплектовані запобіжними клапанами (поз. 3.3), які починають спрацьовувати при тиску 5 mbar і випускають біогаз в атмосферу. Сірка видаляється з біогазу за допомогою спеціальних добавок (додаванням повітря 2-4% в біогаз під куполи газгольдерів та додаванням в сировину сполук заліза).



Експлікація споруд та обладнання

Поз.	Найменування	Кількість
1.1	*Приймальний резервуар*	2
3.5	*Мішалка занурювальна*	2
3.6	***Трубопровод подачі тепла***	3
3.7	***Мацератор (подрібнювач)***	1
3.12	***Насос подачі субстрату***	1
3.18	***Насос викачування субстрату***	1
3.19	***Керований клапан***	1

Рисунок 3.3 - Технологічна схема вузла приймання та підготовки субстрату біогазової установки



Експлікація споруд та обладнання

Поз.	Найменування	Кількість
1.2	*Ферментатор*	2
3.1	*Купол захисний*	2
3.2	*Газгольдер*	2
3.3	*Клапан скидний*	2
3.4	*Мішалка занурювальна*	6
3.6	*Трубопровод подачі тепла*	3
3.19	*Керований клапан*	1

Умовні позначення

Біогаз

Субстрат ферментації

Фільтрат чи вода

Теплотраса

Біогаз

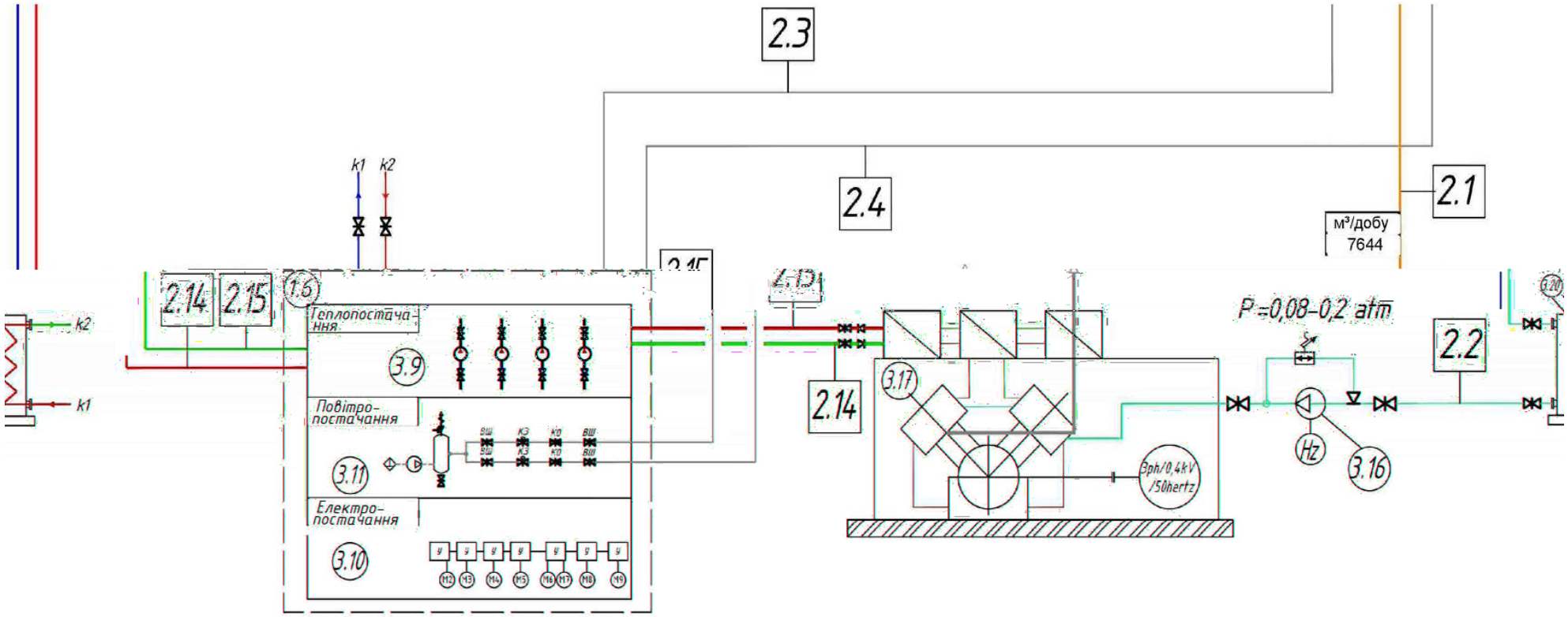
Повітря

Позначення потоків

Познач.	Найменування продукту, що транспортується
2.6	Субстрат відпрацьований
2.12	Вода
2.13	Вода
2.16	Водопровід

Рисунок 3.4 - Технологічна схема споруд для зброджування субстрату біогазової установки страту біогазової установки

Рисунок 3.5 - Технологічна схема вузлів вироблення електричної енергії та розподілення тепла біогазової установки



Експлікація споруд та обладнання

Поз.	Найменування	Кількість
1.6	*Технічний блок*	1
3.9	*Обладнання теплопостачання (комплект)*	1
3.10	*Обладнання електропостачання (комплект)*	1
3.11	*Обладнання повітряпостачання (комплект)*	1
3.16	*Компресор газовий (сум. витрата)*	1
3.20	*Теплообмінник*	1

Умовні позначення

- *Фільтрат чи вода*
- *Теплотраса*
- *Біогаз*
- *Повітря*

Позначення по

Позначення	Найменування продукту, що транс
2.1	Біогаз
2.2	Біогаз
2.3	Повітря
2.4	Повітря
2.14	Вода
2.15	Вода

Експлікація споруд та обладнання

Поз.	Найменування	Кількість
1.3	*Резервуар перебродилого субстрату*	1
1.4	*Резервуар фільтрату*	1
1.5	*Площадка сепарації*	1
1.7	*Лагуна*	1
3.8	*Сепаратор*	1
3.14	*Насос подачі на сепаратор*	1
3.18	*Насос викачування субстрату*	1

Позначення потоків

Познач.	Найменування продукту, що транспортується
2.9	Субстрат відпрацьований
2.10	Фільтрат
2.11	Фільтрат

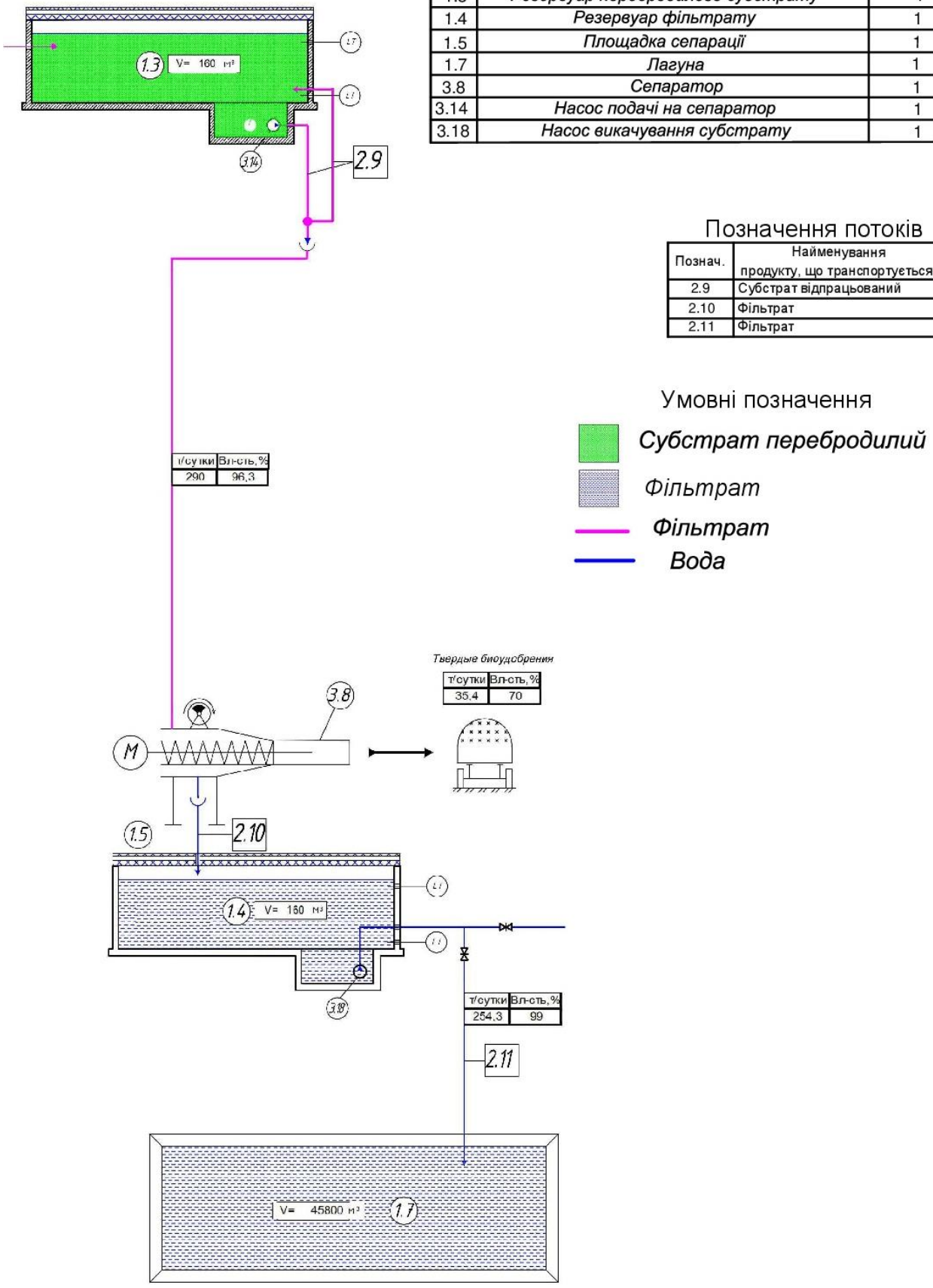


Рисунок 3.6 - Технологічна схема дільниці виробництва біодобрив зі збродженої маси біогазової установки

Потім біогаз по трубопроводу потрапляє в компресор (поз. 3.16), де його тиск піднімається до 80-100 mbar для подачі в когенератор (поз. 3.17). Газопровід обладнаний системою відбору конденсату. Всі прилади працюють за граничним показниками. Після того як біогаз потрапляє до когенератору, в результаті його згоряння виробляється електрика і тепло. Тепло вироблене когенератором за допомогою теплообмінника (поз. 3.20) направляється на опалення установки. Опалювальне обладнання використовується для розподілу тепла по біогазовому комплексу.

Перебродженa маса з кожного реактора потрапляє в резервуар (поз. 1,3), а потім насосом подається на сепаратор (поз. 3.8), де вона розділяється на «тверду» (вологість 70 %) і рідку (вологість 99 %) фракції. «Тверда» фракція вивантажується в автотранспорт і транспортується в сховище або вивозиться на поля в якості органічного добрива.

Рідкий фільтрат направляється в резервуар для фільтрату (поз. 1.4), звідки перекачується в існуючу лагуну (поз. 1.7).

Всі технологічні процеси контролюються і управляються автоматикою. Робота біогазового комплексу візуалізується на моніторі комп'ютера, з якого проводиться керування технологічним процесом. Пункт управління обладнаний центральною системою управління, яка дозволяє перемикати будь-який вузол біогазової установки в ручний, або автоматичний режим роботи, а також з локального в дистанційний режим управління.

Нижче проводиться більш детальний опис основного обладнання.

Обладнання подачі субстрату (рис. 3.7).



Рисунок 3.7 - Насос подачі субстрату

Насоси використовуються для транспортування субстрату до вузлів біогазової установки і від них. Дизайн біогазової установки дозволяє легкий доступ до всіх насосів. Насоси працюють за допомогою спірального зубчастого колеса. Статор оснащений бункером для оптимального заповнення насосної камери. Вузол характеризується зносостійким і надійним з'єднанням з живильним шнеком, надійною підшипниковою стійкою з зімкнутим компонуванням і самоцентруючим валом приводу. Насоси мають модульне виконання, що дозволяє знизити експлуатаційні витрати.

Подрібнювач (рис. 3.8) використовується для захисту насоса від твердих сторонніх об'єктів. Він спеціально сконструйований для ефективного подрібнення і відбору об'єктів неправильної форми. Похилі різці встановлені під кутом до вхідного потоку. Якщо необхідний режим відбору, сторонні об'єкти можуть падати у вбудований збірник, встановлений під держателями різців, таким чином запобігаючи пошкодженню. Збірник обладнаний системою доступу з великим діаметром, що дозволяє легке видалення затриманих частинок, чищення і промивання.



Рисунок 3.8 - Подрібнювач (вид з середини)

Кожен подрібнювач поставляється з програмованим логічним контролером для захисту машини від пошкоджень і перевантажень.

Ферментатори (рис. 3.9) виконані з монолітного залізобетону на сульфатостійкому цементі з товщиною стін і днища 250 мм. Перекриття ферментаторів, виконано з натягнутих ременів, в центрі ферментатора встановлена центральна колона з капітеллю. Ремені кріпляться на стіни і центральну колону з капітеллю. Дно резервуара має ухил 2% до центру для

поліпшення умов розвантаження та перемішування. Для повного вивантаження перебродилого субстрату в днищі ферментатора передбачений трубопровід.

Стіни і днище резервуарів мають систему опалення для підігріву біомаси в межах 36-38 °С.



Рисунок 3.9 - Ферментатор (вид зовні та з середини)

З зовнішньої сторони стіни ферментатора теплоізольовані плитами з екструзійного пінополістиролу товщиною 100мм, це дозволяє зберегти тепло і зменшити витрати теплової енергії на підігрів ферментатора. У підземній частині, стіни і днище по утеплювачу ізольовані рулонною гідроізоляцією.

Теплоізоляція в надземній і підземній частинах споруди захищена профнастилом від механічних пошкоджень і гризунів. Для контролю герметичності стін і днища монтується дренажна система з перфорованої труби. Дренажна система прокладається зовні на бетонні основи уздовж стіни. Контроль над роботою дренажної системи здійснюється через оглядові колодязі.

Мішалки (рис. 3.10).



Рисунок 3.10 Мішалка з поворотним механізмом (зліва); занурювальна мішалка на щоглі (зправа)

Занурювальні мішалки для біогазових установок, з електричним приводом, сконструйовані для роботи у вибухонебезпечному середовищі класу 2, та використовуються для ретельного перемішування субстрату. Мішалка може бути встановлена на більшість типів щогл для для регулювання висоти пристрою. Завдяки чотирьом роликовим направляючим мішалка може спокійно занурюватись і підніматись без тертя, навіть якщо кабель тягнеться під невеликим кутом. Кріплення мішалки розроблено для квадратної щогли (100 х 100 мм) як стандартний варіант. Натягувач кабелю може бути встановлений у розширення двигуна або вгорі кріплення двигуна в залежності від вимог. Це дозволяє використовувати будь-які установчі набори. Мотор-редуктор виготовлений з чавуну з кулястим графітом і зверху пофарбований, гвинт оцинкований, а кріплення двигуна виготовлено з нержавіючої сталі. Занурювальна мішалка виконана в формі водонепроникного моноблока, що приводить в рух трилопатевий гвинт.

Когенераційна установка (КГУ) призначена для виробництва електрики і теплоти (як один процес). В проекті запропоновано газопоршневу електростанцію GE Jenbacher J316 (рис. 3.11).



Рисунок 3.11 - Когенераційна установка

Тип генератора БГУ – Stamford PE734B2 - 3-фазний, 4-полюсний, синхронний, без щіток, одноопорний, клемний ящик, силові шини, 3-фазний автомат захисту с незалежним розціплювачем. Напруга генератора – 400/230 В.

Завдяки утилізації теплоти при виробництві електрики і уникнення трансмісійних втрат, так як електрика виробляється автономно, КГУ досягає

сумарного енергетичного ККД ≈ 88 %. Це дає можливість економії, завдяки вигідному балансу між електричною і тепловою продуктивністю. Іншим важливим фактором вигідності КГУ є низький рівень викидів забруднюючих речовин (вміст оксидів азоту в відпрацьованих газах до 500 мг/м^3), а також теплоти в атмосферу.

Газгольдер (рис. 3.12).



*Газгольдер **з захисним куполом на ферментаторі***

Рисунок 3.12 - Газгольдер

Газгольдер служить для збору біогазу, вирівнювання тиску і складу біогазу. Система газгольдера має двошарову структуру. Зовнішня – це всепогодна полістирольна плівка покрита ПВХ тканиною, стійкою до ультрафіолетових променів. Внутрішня – мембрана PELD (проникаюча здатність метану - 260 см^3/см^2×добу×1Бар), стійка до біогазу. Внутрішня плівка розтягується під тиском біогазу (тиск біогазу в газгольдері 2 - 5 мбар). Для протидії тиску біогазу, в простір між газгольдером і зовнішнім куполом нагнітається повітря, створюючи тиск на внутрішню мембрану. Мембрани проектуються і вирізаються на верстатах з ЧПУ. Зварювання проводиться високочастотним струмом. До стінки ферментатора газгольдер пристебнутий пневматичним замком. Таким чином, з'єднання дуже міцне і газонепроникне. Пневматичний замок складається з:

трапецієподібного профілю, кріплення, компресора для створення тиску, шланга для кріплення газгольдера в профілі. Для запобігання пошкодженню газгольдера від тиску встановлений скидний клапан. Для огляду внутрішньої мембрани зовнішній купол укомплектований акриловими оглядовими вікнами.

Сепаратор (рис. 3.13)



Рисунок 3.13 – Сепаратор

Сепаратор використовується для розділення твердої і рідкої фракції перебродженої маси. Він працює автоматично за принципом шнекового. Тверді і рідкі речовини закачуються з вхідного патрубка в горизонтальні сита. Частина води стікає з сит під впливом сили тяжіння. Прес шнека просуває решту твердих і рідких частинок в зону преса, яка знаходиться в останній секції сита. Тут ущільнений твердий матеріал спресовується і подається на вихід агрегату. На виході можна встановити збірні контейнери. Отсепарована рідина стікає вниз до вихідного патрубка агрегату. Завдяки дрібним зазорам сит, вони завжди самоочищаються.

Автоматика і електричне обладнання (рис. 3.14)



Рисунок 3.14 - Автоматика БГУ

Автоматичне обладнання використовується для контролю і спостереження за робочими параметрами установки і обмеження пошкоджень. Наприклад, в разі надзвичайної ситуації (збою подачі електроживлення), біогазова установка автоматично перейде в режим безпечної роботи. Важливі електричні прилади поставляються з джерелами безперебійного живлення. Система автоматики дозволяє стежити за роботою установки в реальному часі і розпізнавати, а також виправляти помилки моментально, для того, щоб експлуатувати установку оптимально і з мінімальними витратами. Також ведеться постійний запис параметрів в електронний журнал. Система автоматики складається з щита автоматики, а також датчиків контролю процесу і виконавчих механізмів. Шафа управління спроектована на базі промислового контролера Siemens CPU315-DP2 з використанням периферії Simatic ET200S, а також панелі управління OP277 з сенсорним екраном. Комунікація здійснюються за допомогою PROFIBUS і MPI з фізичним інтерфейсом RS-485. Система контролю розроблена на базі Simatic Step7. Шафа – модульного виконання. Верхня частина містить блок живлення, центральний і буферний процесор. Внизу розподільча периферія Simatic ET200S з системою введення / виводу. У нижній частині інтерфейсне реле з зажимами для приєднання виконавчих приладів. Вся установка управляється 1 оператором.

Теплопункт (рис. 3.15).

Обладнання теплопункту використовується для теплозабезпечення біогазової установки і підтримки постійної температури в ферментаторах. Опалювальне обладнання включає циркуляційні насоси, трубопроводи і труби

опалення. Джерело теплоти - КГУ. Теплота від КГУ передається до контуру біогазової установки за допомогою теплообмінника і циркуляційних насосів. Теплоносієм є вода з добавкою етиленгліколю. Температура на вході в ферментатор 65 ºС, на виході 45 ºС.



Рисунок 3.15 - Устаткування теплопункту

Рідкі добрива передбачається накопичувати в існуючій лагуні, та використовувати для удобрення прилеглих с/г угідь за допомогою спеціальної розбризкувальної техніки, яка є на балансі ТОВ «Марлен-КД».

«Тверда» фракція може накопичуватись на існуючому майданчику для компостування, до подальшої реалізації, чи відразу відвантажується на автотранспорт та вивозиться згідно укладеним договорам.

3.3 Розрахунок теплового балансу БКУ

Рівняння теплового балансу біогазової установки:

$$Q = Q_1 + Q_2 \,, \tag{3.9}$$

де Q - кількість теплової енергії для підтримки балансу з виробленого біогазу;

Q_1 - кількість теплової енергії, яка необхідна для підігрівання органічних речовин в об’ємі продуктивності установки;

Q_2 – втрати теплової енергії через поверхні приймального резервуару та ферментатора.

Кількість теплової енергії, необхідної для підігрівання біомаси визначається

за формулою [9]:

$$Q_1 = \varepsilon_{бгу} = C \cdot Q_{г.річн.} \cdot \Delta t\,, \quad (3.10)$$

де, $\varepsilon_{бгу}$ – теплова енергія, необхідна для підігріву гною до температури бродіння, МДж;

$Q_{г.річн.}$ – річна кількість гною, яка виходить з ферми, кг;

Δt – різниця температури збродження і температури вихідного гною ($t_{збр}$-$t_{гною}$), °С;

С – питома теплоємкість рідкого гною (4,19 кДж/кг · град.).

Примітка. $t_{збр}$ залежить від режиму роботи БГУ, а t вихідного гною складає у теплий період року (230 діб) в середньому +20°С; в холодний – +15°С (115 діб).

Цей показник визначається спочатку окремо для теплого і холодного періоду року за формулами:

$$\varepsilon_{бгу.тепл.період} = C \cdot (Q_{г.доб.} \text{ x } 230) \cdot \Delta t; \quad (3.11)$$

$$\varepsilon_{бгу.хол.період} = C \cdot (Q_{г.доб.} \text{ x } 115) \cdot \Delta t; \quad (3.12)$$

$$\varepsilon_{бгу.річн.} = \varepsilon_{бгу.тепл.період} + \varepsilon_{бгу.хол.період} \quad (3.13)$$

Кількість теплової енергії, необхідної для підігрівання біомаси складе:

- для теплого періоду
- $\varepsilon_{бгу.тепл.період} = 4{,}19 \cdot (326{,}3 \times 230) \cdot (37\text{-}20) = 5345740{,}2$ МДж
- для холодного періоду
- $\varepsilon_{бгу.хол.період} = 4{,}19 \cdot (326{,}3 \times 115) \cdot (37\text{-}15) = 3459008{,}3$ МДж
- сумарна

$Q_1 = \varepsilon_{бгу.річн.} = 5345740{,}2 + 3459008{,}3 = 8804748{,}5$ МДж = 2445763,5 кВт

Втрати теплоти через поверхні приймального резервуару та ферментаторів визначаються за формулою:

$$Q_2 = (F_1 \cdot (T_B - T_З)/R_1) + (F_2 \cdot (T_B - T_З)/R_2) \ldots + (F_i \cdot (T_B - T_З)/R_i) \quad (3.14)$$

F_i - площі різних видів теплозахисних поверхонь біогазової установки, м^2;

T_B - температура внутрішнього середовища споруд БГУ, °С;

$T_З$ - температура зовнішнього середовища, °С;

R_i - величини теплових опорів різних видів теплозахисних поверхонь біогазової установки, (м^2 × К) / Вт.

Величини теплових опорів різних видів теплозахисних поверхонь розраховуємо по формулі [15]:

$$R_i = \frac{1}{\alpha_в} + \sum_{i=1}^{n} \frac{\delta_i}{\lambda_{i.p}} + \frac{1}{\alpha_з} \quad (3.15)$$

Де $\alpha_в, \alpha_з$ – коефіцієнти тепловіддачі внутрішньої і зовнішньої поверхонь огороджувальної конструкції, Вт/(м^2 × К), які приймаються згідно з додатком Е [15];

δ_i - товщина і-того шару теплозахисної поверхні біогазової установки, м.

λ_i - коефіцієнт теплопровідності і-того шару теплозахисної поверхні біогазової установки, Вт / (м × К).

Дані для розрахунку:

Площі різних видів теплозахисних поверхонь біогазової установки:

Площа зовнішньої поверхні приймального резервуару: F_1 = 311,7 м^2

Площа бокової поверхні та днища ферментаторів: F_2 = 848,6 м^2

Площа поверхні газгольдерів: F_3 = 830,5 м^2

Коефіцієнти тепловіддачі внутрішньої і зовнішньої поверхонь огороджувальної конструкції: $\alpha_в$ = 8,7 Вт/(м^2 × К), $\alpha_з$ = 23 Вт/(м^2 × К)

Коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні горизонтальної огороджувальної конструкції, $\alpha_з$ = 12 Вт/(м^2 × К)

Коефіцієнт теплопровідності теплозахисної поверхні приймального резервуару та ферментаторів (залізобетон, екструзійний полістирол), складе:

- залізобетону, - λ_1 = 1,69 Вт /(м · К);

- екструзійного полістиролу, - λ_2 = 0,034 Вт /(м · К);

- повітряного прошарку газгольдерів, - λ_3 = 0,027 Вт /(м · К);

- плівки газгольдерів, - λ_3 = 0,04 Вт /(м · К).

Товщини теплозахисних поверхонь:

- приймального резервуару та ферментаторів:

залізобетон, B_1= 0,25 м;

екструзійний полістирол, B_2 = 0,10 м;

- повітряної подушки газгольдерів, B_3 = 0,10 м;
- захисної плівки, B_4 = 0,01 м.

Величини теплових опорів різних видів теплозахисних поверхонь складуть:

- приймального резервуару та ферментаторів (бічна поверхня та днище):

$$R_{1,2} = \frac{1}{8,7} + \left(\frac{0,25}{1,69} + \frac{0,10}{0,034}\right) + \frac{1}{23} = 0,115 + 0,148 + 2,941 + 0,043 =$$

$$= 3,247 \text{ (м}^2 \times \text{К) / Вт;}$$

- газгольдерів ферментаторів (згідно таблиці И1 ДБН):

$$R_3 = \frac{1}{8,7} + \left(\frac{0,10}{0,027} + \frac{0,01}{0,04}\right) + \frac{1}{12} = 0,115 + 7,407 + 0,25 + 0,083 =$$

$$= 7,855 \text{ (м}^2 \times \text{К) / Вт.}$$

Температури внутрішнього середовища споруд БГУ:

- приймального резервуару, - T_B = 298 К (25 °С);
- ферментаторів, - T_B = 310 К (37 °С);
- газгольдерів, - T_B = 313 К (40 °С).

Середньорічна температура зовнішнього середовища, $T_З$ = 281 К (8 °С).

Втрати теплоти через поверхні приймального резервуару, ферментаторів та газгольдерів складуть:

$$Q_2 = (311,7 \cdot (298 - 281) / 3,247) + 2 \times (848,6 \cdot (310 - 281) / 3,247) + 2 \times$$
$$\times (830,5 \cdot (313 - 281) / 7,855) = 1631,9 + 15158,2 + 6755,6 = 23546\,Вт \approx 23,5 кВт$$

Добові втрати складуть:

23,5 кВт×24 год/добу = 564 кВт

Річні втрати складуть:

23,5 кВт×345 діб/рік×24 год/добу = 194580 кВт·год

Кількість теплової енергії для підтримки балансу з виробленого біогазу протягом року складе:

Q = 2445763,5 + 194580 = 2640343,5 кВт або 2270,3 Гкал

Годинна електрична потужність на власні потреби споживачів біогазової установки згідно даних постачальника устаткування ТОВ «Зорг Біогаз Україна» складе – 72 кВт ·год.

Технічні показники біоенергетичного комплексу ТОВ «Зорг Біогаз Україна», при застосуванні для утилізації рідкого гною свинокомплексу закритого типу ТОВ «Марлен-КД» представлені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 - Технічні показники біоенергетичного комплексу свинокомплексу закритого типу ТОВ «Марлен-КД»

Продукти утилізації рідкого гною свинокомплексу (виробництво біогазу)	Один. виміру	Величини показників		
		За годину	За добу	За рік
Біогаз:	$м^3$	318,5	7644	2637180
Електроенергія (брутто), в т. ч.:	кВт×год	742,7	17826	6149904
- електроенергія на власні потреби БГУ		72	1728	596160
- електроенергія (нетто)		670,7	16098	5553744
Теплова енергія (брутто), в т. ч.:	Гкал (МВт)	0,76 (0,884)	18,2 (21,2)	6292,8 (7319,5)
- теплова енергія на власні потреби БГУ		0,27 (0,31)	6,6 (7,7)	2270,3 (2640,4)
- теплова енергія (нетто)		0,49 (0,574)	11,6 (13,5)	4022,5 (4679,1)
Виробництво „твердих” добрив (вологість 70 %)	тон	1,0	24,1	8314,5
Виробництво рідких добрив (вологість 99 %)	тон	12,2	293,1	101119,5

3.4 Аналіз варіантів роботи БКУ

Надлишок теплової енергії утвореної в КГУ можливо використати за двома найбільш оптимальними варіантами.

Варіант № 1. Опалення приміщень для утримання свиней в холодний період року та кондиціювання в літній період, за допомогою абсорбційного чіллера та фанкойлів.

Чіллер - це холодильна машина, яка використовується в центральних системах кондиціювання, для охолодження теплоносія і подачі його по системі трубопроводів в фанкойли або інші теплообмінники.

Абсорбційні чіллери - це чіллери, для яких головне джерело енергії - це не електрика, а вторинні енергоресурси (гарячі відпрацьоване повітря або вода). Вторинна теплота береться від заводів, підприємств, теплоелектростанцій.

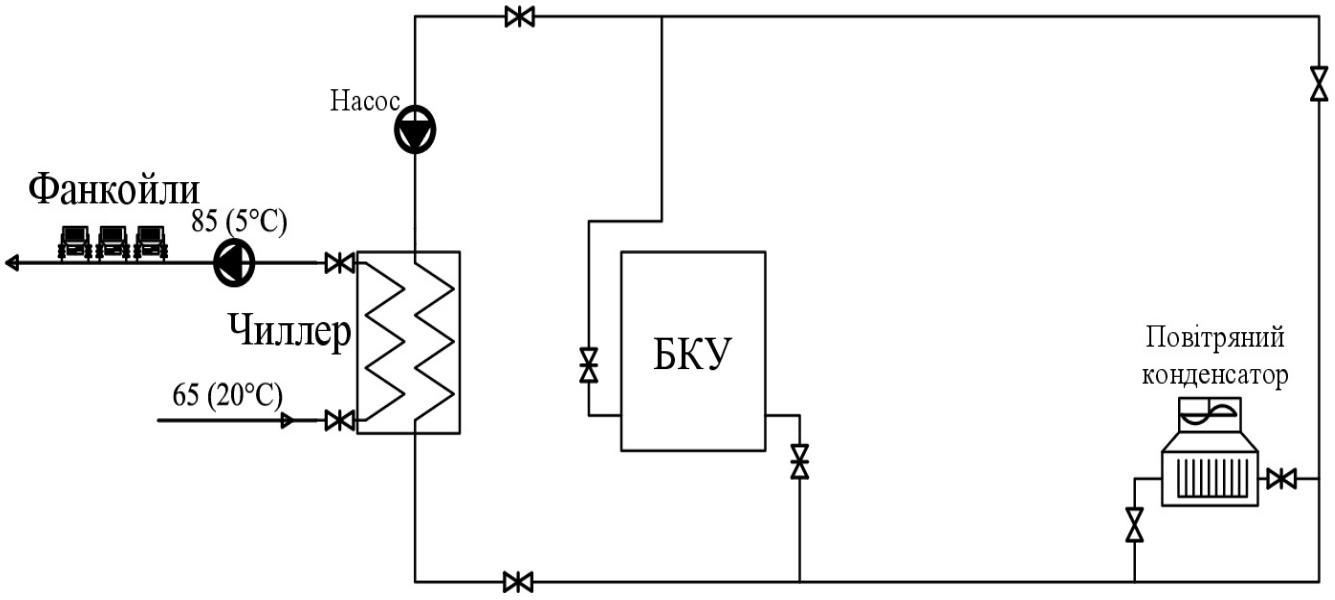
Робочою речовиною для таких машин служить розчин з двох або трьох компонентів. Широке застосування знайшли розчини типу холодоагент-абсорбент. Головна умова - холодоагент повинен добре розчинятися в абсорбенті (поглиначі). Друга важлива умова - більш висока температура кипіння у поглинача, ніж у холодоагенту. Найбільш поширені розчини для цих чіллерів - це водно-аміачний розчин (холодоагенти), а також вода - бромистий літій (абсорбенти).

Принцип роботи абсорбційного чіллера: до генератора надходить теплова енергія, що призводить до кипіння в ньому робочого розчину. Внаслідок цього холодоагент википає з розчину, що відбувається через більш низьку температуру кипіння, ніж у поглинача. Потім пара, отримана від холодоагенту, йде в конденсатор. Там відбувається його охолодження і конденсація з подальшою віддачою теплоти навколишньому середовищу. Отримана рідина проходить дроселює терморегулюючий вентиль (ТРВ), що призводить до її розширення і охолодження, і потім слідує в випарник. При випаровуванні вона забирає тепло з навколишнього середовища, тим самим охолоджуючи його, після чого слідує в абсорбер. Сюди ж через дроселюючий пристрій подається чистий абсорбент, так як холодоагент раніше википів з нього. Відбувається поглинання абсорбентом пара холодоагенту. Потім цей розчин за допомогою насоса подається в генератор, і цикл повторюється.

Абсорбційні чіллери мають ряд переваг - це економічність, тривалий термін служби, низький рівень шуму і екологічна безпечність.

Фанкойли — це внутрішні блоки системи промислового кондиціювання принцип роботи яких полягає в розподіленні холода (тепла), що передається по трубам від чіллера, за допомогою вбудованих теплообмінників та вентиляторів в зоні впливу створюваного ними повітряного потоку.

Схема утилізації надлишкового тепла БКУ, з кондиціюванням виробничих приміщень приведена на рисунку 3.16.



Примітка. В дужках дані показники температури робочої рідини при охолодженні

Рисунок 3.16 Схема утилізації надлишкового тепла БКУ, з кондиціюванням виробничих приміщень.

Кількість виробленої теплоти біогазовою установкою, що може бути використане для опалення виробничих приміщень (при тривалості опалювального періоду 175 діб/рік [16]: 11,6 Гкал/добу × 175 = 2030 Гкал.

Кількість виробленої теплоти біогазовою установкою, що може бути використане для опалення виробничих приміщень (при тривалості опалювального періоду 175 діб/рік [16]: 11,6 Гкал/добу × 175 = 2030 Гкал.

Коєфіцієнт передачі тепла (з врахуванням втрат) від фанкойлів приймаємо 80 %. При цьому кількість теплової енергії використаної для обігріву виробничих приміщень утримання свиней складе: 2030 Гкал × 0,8 = 1624 Гкал, що в перерахунку на природний газ з нижчою теплотою згоряння 8050 ккал/м^3, дорівнює: 10^6 × 1624 Гкал : 8050 ккал/м^3 = 201739 м^3

Кількість виробленої теплоти біогазовою установкою, що може бути використане для кондиціювання виробничих приміщень (при тривалості жаркого періоду 32 діб/рік [16]: 11,6 Гкал/добу × 32 = 371,2 Гкал.

Втрати енергії на виробництво та передачу холода становлять біля 10 %: 371,2 Гкал ×(1 – 10% / 100 %) = 334,1 Гкал

Характеристики чіллеру:

- виробництво холоду, - 200 - 1000 кВт;
- виробництво тепла, - 220 - 510 кВт;
- коефіцієнт перетворення енергії , - 3-4,5.

Характеристики фанкойлів:

- виробництво холоду, - 1,6 - 10,9 кВт;
- виробництво тепла, - 1,6 - 11,3 кВт;
- витрата повітря, - 225-1536 $м^3$/год.

Загальна річна витрата електричної енергії, при приблизній електричній потужності системи «чіллер-фанкойли» 250 кВт/год складе: 250 кВт/год × (175 + + 32) × 24 год/добу = 1242,0 тис. кВт × год /рік

Існуючі витрати електроенергії ТОВ «Марлен-КД» на опалення та кондиціювання складають до 500 тис. кВт × год /рік.

Тобто перевитрата електроенергії в порівнянні з функціонуванням існуючої системи кондиціювання свинокомплексу ТОВ «Марлен-КД»: 1242 – 500 = 742 тис. кВт × год /рік

Проте утилізація надлишкового тепла від БГУ, за допомогою системи «чіллер-фанкойли» дозволить з'економити витрату природного газу на 32 %.

Капітальні витрати на 1кВт потужності установки кондиціювання «чіллер-фанкойли» складають близько 900 € [17], що при встановленій потужності 465 кВт/год (0,4 Гкал/год) дадуть: 465 кВт/год × 900 € = 418,5 тис. €. Кількість надлишкової теплової енергії, що доведеться утилізувати через повітряний теплообмінник у міжсезонні періоди (при відсутності споживачів), на протязі 138 діб (3312 год) складе:

$$4022,5 – 2030 – 371,2 = 1621,3 \text{ Гкал/рік}$$

При потужності двигунів осьових вентиляторів чіллера – 11,8 кВт/год, витрата електричної енергії на охолодження теплоносія для зворотнього контуру когенераційної установки:

11,8 кВт/год × 3312 год = 39082 кВт × год

Кількість вільної електричної енергії по цьому варіанту складе:

5553,744 тис кВт × год - 1242 тис. кВт × год -39,082 тис. кВт × год =

4272,662 тис. кВт × год /рік

Приблизний енергетичний баланс при використанні даного варіанту утилізації надлишкової теплової енергії представлений в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 - Енергетичний баланс БКУ при утилізації надлишкової теплоти за допомогою системи «чіллер-фанкойли»

Вид енергії (вхід)	Показники		Вид енергії (вихід)	Показники	
	Гкал/рік	тис. кВт × год/рік		Гкал/рік	тис. кВт × год/рік
Надлишкова теплова енергія, в т. ч.:	4022,5	-	Теплова енергія, в т. ч.:	1958,1	-
-на опалення приміщень	2030,0	-	-на опалення приміщень	1624,0	-
- на кондиціювання приміщень	371,2	-	- на кондиціювання приміщень	334,1	-
- невикористана утилізована енергія	1621,3	-	- невикористана утилізована енергія	-1621,3*	-
Електрична енергія, в т. ч.:	-	5553,744	Електрична енергія, в т. ч.:	-	4272,662
-на опалення та кондиціювання	-	1242,0	-на опалення та кондиціювання	-	-
- на утилізацію невикористаної енергії	-	39,1	- на утилізацію невикористаної енергії	-	-
- вільна електрична енергія	-	4272,662	- вільна електрична енергія	-	4272,662
Всього	4022,5	5553,744	Всього	1958,1	4272,662

*Примітка. В балансі не враховується

Як видно з показників:

- передбачуванне корисне застосування теплової енергії на протязі року складе, -1958,1 Гкал× 100 % / 4022,5 Гкал = 48,7 % від загальних надходжень тепла;

- передбачуванний вихід електричної енергії на протязі року складе, - 4272,662 тис. кВт × год × 100 % / 5553,744 тис. кВт × год = 77 % від загального вироблення електроенергії.

Переведемо вихідну енергію в грошову форму. При цьому врахуємо: економію природного газу (вартість природного газу приймаємо 11,152 грн/м^3), та вартість електроенергії по тарифу ПрАТ “КІРОВОГРАДОБЛЕНЕРГО” для підприємств 1-го класу напруги (вартість 1 кВт × год електроенергії – 2,25 грн.). Загальна сума надходжень внаслідок використання надлишкового тепла від БГУ для кондиціювання приміщень свинокомплексу складе:

$$201739 \text{ м}^3 \times 11{,}152 \text{ грн/м}^3 + 4272662 \text{ кВт} \times \text{год} \times 2{,}25 \text{ грн/кВт} \times \text{год} =$$

$$= 11863282{,}8 \text{ грн}$$

Варіант № 2. Додаткове виробництво електричної енергії за рахунок використання електрогенеруючої установки, що працює по технології, основаній на органічному циклі Ренкіна (Organic Rankine Cycle - ORC).

Цикл Ренкіна - це термодинамічний замкнутий цикл, що конвертує тепло в роботу і відрізняється від традиційного, закладеного в основу роботи парових турбоустановок, тим, що в якості робочого тіла в тепловому циклі замість води і водяної пари використовуються органічні речовини, температура кипіння і випаровування яких нижче, ніж температура кипіння води. Такі речовини називаються низькокиплячими робочими тілами (НРТ); це, наприклад, з'єднання на основі фреону, вуглеводні типу пентану, бутану, силіконові масла і т. д.

Принцип роботи теплоелектрогенератора:1. Гарячий теплоносій з температурою >60 °С подається в агрегат ORC для попереднього нагріву і випаровування вторинного теплоносія 2. Пар вторинного теплоносія подається на турбіну, яка безпосередньо з'єднана з електрогенератором за допомогою пружної муфти 3. Після турбіни пар конденсується за допомогою повітряного конденсатора, після чого прямує на попередній нагрів, а потім в випарник, який замикає цикл.

На відміну від води, пари НРТ в силу теплофізичних властивостей при розширенні в турбіні не потрапляють в область вологої пари. Тому при використанні НРТ не виникає проблем з ерозією останніх ступенів лопаток турбіни. Вибір оптимального НРТ для ORC-модуля залежить від вихідної температури джерела тепла.

Перспективним вирішенням проблеми утилізації низькопотенційного тепла є застосування модуля ORC з низькокиплячими робочими тілами (НРТ) у другому контурі енергетичної установки (в т. ч. біогазової).

Модуль ORC майже не вимагає підживлення другого контуру, так як єдиний можливий шлях втрат робочого тіла - через кінцеві ущільнення турбіни. При цьому протікання збираються системою уловлювання НРТ і прямують назад в контур. При необхідності (наприклад, при виведенні обладнання в ремонт) передбачений злив НРТ в рідкому стані в спеціальну ємність (бак).

Схема утилізації тепла від БКУ в ORC-модулі, з виробленням додаткової електричної енергії представлена на рисунку 3.17.

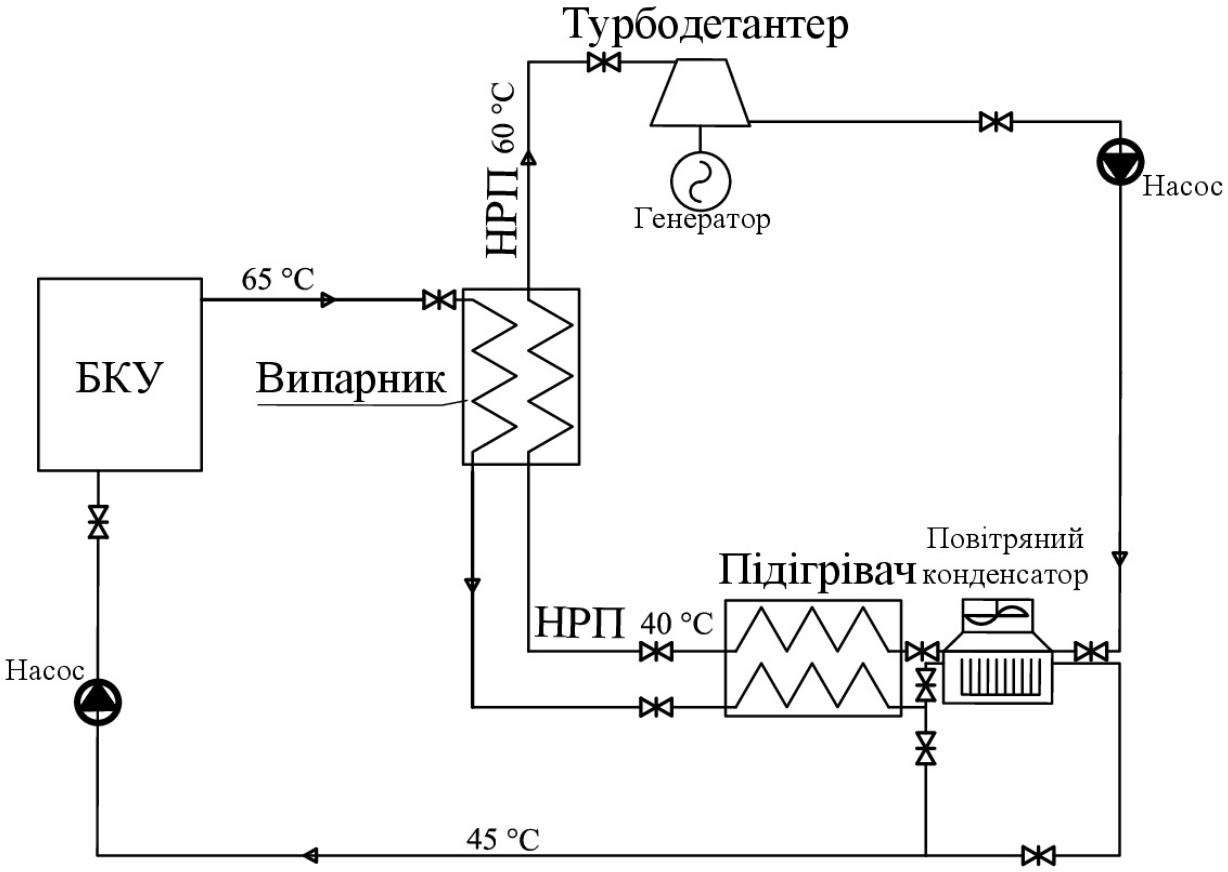


Рисунок 3.17 Схема утилізації утилізації тепла від БКУ в ORC-модулі, з виробленням додаткової електричної енергії

В даний час існують ряд фірм, що випускають ORC-модулі: Turboden, Ormat і інші.

Основні переваги ORC в порівнянні з класичним паровим циклом: • великий ККД циклу - особливо при використанні для спільного виробництва енергії; •

великий ККД турбіни; • низьке механічне навантаження на турбіну через низьку окружну швидкість; • низька швидкість обертання турбіни забезпечує пряме підключення до генератора без редуктора; • відсутність ерозії лопатей турбіни, що пов'язано з відсутністю крапель вологи в парах органічних речовин; • тривалий термін служби експлуатації машини - понад 20 років, завдяки характеристикам робочої рідини, яка - на відміну від парів води - не призводить до корозії клапанних гнізд, труб і лопатей турбіни; • можливість використання непідготовленої води; • відсутність втрат при: дегазації води, демінералізації, скиданні мулу і конденсації; • простота в експлуатації; • автоматична і безперервна робота; • добрі акустичні характеристики (відносна безшумність); • періодична присутність оператора; • мінімальні вимоги до технічного обслуговування; • добра продуктивність при частковому навантаженні.

Згідно пропозиції ТОВ «Зорг Біогаз Україна» для утилізації надлишкового тепла біогазової установки свинокомплексу ТОВ «Марлен-КД» може бути використано ORC модуль вартістю біля 350 тис. €.

Вищезгаданий ORC модуль має коефіцієнт корисної дії перетворення теплової енергії в електроенергію (до 20%). При цьому приблизно 25 % виробленої електроенергії споживається на власні потреби ORC.

Передбачене використання в якості НРТ для ORC модуля фреона R410a з характеристиками представленими в таблицях 3.5 та 3.6.

Таблиця 3.5 - Характеристики фреона R410a

Фізичні характеристики	
Склад	R125/R32 (1:1)
Температура кипіння	-51.53 °C
Критична температура	72.13 °C
Критичний тиск	4,93 МПа
Теплота пароутворення	264,3 кДж/кг
Озоноруйнуючий потенціал (ODP)	0
Потенціал глобального потепління](GWP)	1890

Таблиця 3.6 Залежність тиску фреона R410a від температури при кипінні.

T, C	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
P,бар	5,85	7	8,37	9,76	11,56	13,35	15	16,65	19,8	22,9	26,2

Кількість виробленої електричної енергії при утилізації надлишкової теплоти БГУ свинокомплексу ТОВ «Марлен-КД» з використанням ORC модулю, запропонованого ТОВ «Зорг Біогаз Україна», складе:

$$1{,}163 \times 4022{,}5 \text{ Гкал/добу} \times 0{,}2 = 935{,}6 \text{ тис. кВт} \times \text{год.}$$

При цьому кількість товарної електроенергії виробленої ORC модулем складе: 935,6 × (1 - 25 %/100 %) = 701,7 тис. кВт × год чи 85 кВт/год

Максимальна кількість електроенергії, що буде вироблятись при функціонуванні БКУ з ORC-модулем:

$$\sum P_Г = 5553744 + 701700 = 6255444 \text{ кВт} \times \text{год / рік}$$

Приблизний енергетичний баланс при використанні даного варіанту утилізації надлишкової теплової енергії представлений в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 - Енергетичний баланс при роботі БКУ з утилізацією надлишкової теплової енергії в ORC-модулі

Вид енергії (вхід)	Показники		Вид енергії (вихід)	Показники	
	Гкал/рік	тис. кВт × год/рік		Гкал/рік	тис. кВт × год/рік
Надлишкова теплова енергія, в т. ч.:	4022,5		Теплова енергія, в т. ч.:	-	
-на вироблення додаткової електричної енергії в ORC-модулі	4022,5		-перетворена теплова енергія в електричну за допомогою ORC-модуля	804,5*	701,7*
Електрична енергія, в т. ч.:		5553,744	Електрична енергія, в т. ч.:		6255,444
- вільна електрична енергія		5553,744	- вільна електрична енергія		6255,444
Всього	4022,5	5553,744	Всього	-	6255,444

*Примітка. В балансі не враховується

Як видно з показників:

- передбачуване застосування теплової енергії на протязі року складе, -804,5 Гкал× 100 % / 4022,5 Гкал = 20 % від загальних надходжень тепла;
- передбачуванний вихід електричної енергії на протязі року складе, - 6255,444 тис. кВт × год × 100 % / 5553,744 тис. кВт × год = 112,6 %.

Переведемо вихідну енергію в грошову форму. При цьому врахуємо вартість електроенергії по тарифу для підприємств 1-го класу напруги (вартість 1 кВт × год електроенергії – 2,25 грн.). Загальна сума надходжень внаслідок використання надлишкового тепла від БГУ для отримання додаткової електричної енергії за допомогою ORC-модуля складе:

6255444 кВт × год × 2,25 грн/кВт × год = 14074749 грн

Порівняємо обидва варіанти використання надлишкової теплової енергії від БГУ за капітальними затратами та надходженнями від реалізації діяльності:

- капітальні затрати: варіант № 1, - 418,5 тис. *€;* варіант № 2, - 350,0 тис. €. Варіант № 2 – доцільніший;
- надходження від реалізації: варіант № 1,- 11863282,8 грн; варіант № 2, - 14074749 грн. Варіант № 2 – доцільніший.

Виходячи з порівняння двох варіантів подальші розрахунки проводимо по варіанту № 2 - використання надлишкового тепла від БКУ для отримання додаткової електричної енергії за допомогою ORC-модуля.

3.5 Розрахунок кількості електричної енергії для продажу за «зеленим» тарифом

Визначимо розрахункові потужності, що видаватимуться в мережу за тривалого режиму роботи (8280 год/рік).

Активну потужність виробленої електричної енергії визначимо по формулі:

$$P_М = \sum P_Г / T \qquad (3.16)$$

Де $\sum P_Г$ - сумарна річна кількість електричної енергетичної енергії виробленої когенератором БКУ та ORC-модулем, $\sum P_Г$ = 6255444 кВт × год;

Т – кількість годин генерації електроенергії когенератором БКУ та ORC-модулем на протязі року, Т = 8280 год/рік.

$$P_М = 6255444 \text{ кВт} \times \text{год} / 8280 \text{ год} = 755{,}5 \text{ кВт}$$

Електрогенеруючі установки БКУ та ORC-модулю укомплектовані сучасним устаткуванням для усунення гармонійних спотворень викликаних нелінійними навантаженнями, а тому реактивну потужність приймаємо рівну нулю.

Величина розрахункового максимуму виробленого струму визначається із співвідношення [18]:

$$I_{м} = \frac{P_{м}}{\sqrt{3}U_{н}} \tag{3.17}$$

Де $U_н$ – номінальна напруга виробленого струму, $U_н$ = 0,4 кВ.

$$I_{м} = \frac{755,5}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 1090\,A$$

Перевіримо спроможність трансформаторів свинокомплексу прийняти на себе потужність вироблену когенератором БКУ та ORC-модулем.

На головній понижувальній підстанції (ГПП) свинокомплексу встановлено два трансформатори ТМ 630 10/0,4. Характеристика трансформаторів ТМ 630 10/0,4 представлена в таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 - Характеристика трансформаторів ТМ 630 10/0,4

Тип тр-ра	Ном. потужність, кВА	Напруга Uном., кВ		Втрати		$U_{кз.}$%	$I_{хх}$, %
		ВН	НН	$P_{хх.}$ кВт	$P_{к.}$ кВт		
ТМ-630 10/0,4	630	10	0,4	1,25	7,6	5,5	1,7

Потужність трансформатора має задовольняти умові

$$S_{ном} \geq \frac{S_{рр}}{2}$$

$S_{рр} = P_{м}$ — максимальна розрахункова потужність виробленої електроенергії.

$$630 \geq \frac{755,5}{2} = 630 \geq 377,75$$

Визначаю потужність трансформаторів при мінімальному та максимальному коефіцієнту завантаження $k_з$.

$$\frac{S_{рр}}{n \cdot k_{з1}} \div \frac{S_{рр}}{n \cdot k_{з2}} \tag{3.18}$$

$k_з$ - коефіцієнт завантаження трансформаторів перебуває в межах ($0,52 \div 0,7$).

$$\frac{755,5}{2 \cdot 0,52} \div \frac{755,5}{2 \cdot 0,7}$$

$$726,4кВА \div 539,6кВА$$

Перевіряємо трансформатори на максимальне допустиме навантаження в нормальному режимі (n=2), та на перевантаження в аварійному режимі (n=1). За формулою:

$$k_З = \frac{S_{рр} \cdot k_Ф}{n \cdot S_н} \tag{3.19}$$

$k_Ф$ - знаходиться в межах ($1,015 \div 1,03$), який приймаю рівним 1,015;

$S_н$ - номінальне навантаження трансформаторів, кВА.

$$k_{З\max} = \frac{726,4 \cdot 1,015}{2 \cdot 630} = 0,6$$

$$k_{З\min} = \frac{539,6 \cdot 1,015}{1 \cdot 630} = 0,9$$

Перевантаження трансформатора в аварійному режимі в межах допустимого.

Звідси випливає, що потужність трансформаторів забезпечує умови електропостачання як в нормальному так і в аварійному режимах.

Відведення виробленої електричної енергії БКУ з ORC-модулем до трансформаторної підстанції свинокомплексу, яка знаходиться на відстані 60 м, передбачаємо здійснити трьома кабельними лініями (n = 3).

Розрахуємо параметри живлячих ліній до трансформаторів головної понижувальної підстанції (ГПП) свинокомплексу.

Розрахунковий робочий стум $I_{РН}$ живлячих ліній складе:

$$I_{РН} = \frac{I_м}{n} = \frac{1090}{3} = 363.3А$$

За економічної щільності струму вибираємо переріз кабельних ліній. Економічно доцільний переріз визначимо за формулою:

$$F_{ек} = \frac{I_{РН}}{J_{ek}} \tag{3.20}$$

де - I_{PH} - розрахунковий струм лінії при нормальній роботі мережі, А;

J_{ek} - економічна щільність струму, А/мм^2, яка визначається в залежності від матеріалу та часу використання максимального навантаження.

При числі годин використання максимуму навантаження в рік $T_м \geq 5000$ годин приймаємо економічну щільність J_{ek} = 2,7А/мм^2, для кабелю з мідними жилами в гумовій та пластмасовій ізоляції.

Економічний переріз:

$$F_{ек} = \frac{363,3}{2,7} = 134,6мм^2$$

Найближче стандартне значення [19]: S = 150 мм^2, $I_{доп}$ = 435 А. Лінія від БКУ з ORC-модулем до - трансформаторів буде виконана кабелями марки ВВГ (4х150). Вартість кабелю – 1500 грн м. Довжина лінії – 60 м. Загальна довжина кабелів – 180 м.

Частину електроенергії виробленої на БКУ з ORC-модулем, в кількості 3109000 кВт × год, планується використати для цілорічного електропостачання споживачів свинокомплексу ТОВ «Марлен-КД», а решту продавати за «зеленим тарифом».

Кількість вільної активної електроенергії, що можливо буде продати за «зеленим» тарифом складе: 6255444 – 3109000 = 3146444 кВт × год

Визначимо втрати при підвищенні струму в трансформаторі свинокомплексу ТМ 630 10/0,4, для передачі вільної виробленої кількості електричної енергії, що можливо продати за «зеленим» тарифом.

Годинна потужність електричної енергії для продажу за «зеленим» тарифом, згідно формули 3.16, складе:

$$P_р = 3146444/ 8280 = 380 кВт × год$$

Приймемо для підвищення напруги при передачі вільної енергії до ПС «Компаніївка» 150/35/10 (для продажу за «зеленим» тарифом) роботу одного трансформатора ТМ 630 10/04.

Розраховуємо втрати потужності в трансформаторі при підвищенні напруги за формулою:

$$P_{тр.} = n\left(P_{х.х.} + k_e \cdot 0.01 \cdot I_{х.х.} \cdot S_{н.тр.} + P_{к.з.} + k_e \cdot 0.01 \cdot U_{к.з.} \cdot S_{н.тр.} \cdot \left(\frac{S_p}{S_{н.тр.}} \right)^2 \right) \quad (3.21)$$

де $P_{тр.}$ – втрати активної потужності в трансформаторі, (кВт);

n – кількість трансформаторів;

$P_{х.х.}$ і $P_{к.з.}$ – втрати холостого хода і короткого замикання;

S_p *і* $S_{н.тр}$ – розрахункове навантаження і номінальна потужність одного трансформатора, $S_p = P_м$ = 380 кВА; $S_{н.тр}$ = 630 кВА.

$U_{кз}$ і $I_{хх}$ – напруга короткого замикання і струм холостого ходу у відсотках від номінальних значень;

k_e - економічний еквівалент реактивної потужності, кВт/кВар.

Для трансформаторів 6…10 кВ приймаємо k_e = 0,12.

Отже, втрати активної потужності згідно формули (2.20) складають:

$$P_{тр.} = 1(1{,}25 + 0{,}12 \cdot 0.01 \cdot 1{,}7 \cdot 630 + 7{,}6 + 0{,}12 \cdot 0.01 \cdot 5{,}5 \cdot 630 \cdot \left(\frac{380}{630} \right)^2) = 11{,}6 кВт$$

Потужність електричної енергії, що буде передана до лінії ПЛ-10 кВ, для передачі електроенергії з ГПП свинокомплексу до ПС «Компаніївка» 150/35/10, з врахуванням втрат буде становити:

$$P^* = P_p - \Delta P_{тр}, \quad (3.22)$$

$$P^* = 380 - 11{,}6 = 368{,}4 \text{ кВт·год}$$

Втрати в дротах повітряної лінії електропередачі ПЛ-10 кВ для проводів марки АС-35, загальною довжиною 2 км, при передачі електроенергії з ГПП свинокомплексу до ПС «Компаніївка» 150/35/10, розраховуємо по формулі [20]:

Втрати активної енергії у кВт·год. в проводах ПЛ або жилах кабелів КЛ за період часу від Т1 до Т2 розраховують за формулою:

$$\Delta W_{\Pi}^{(P)} = a \cdot \sum_{t=T_1}^{T_2} \left(I_t^2 \cdot R_{ВК} \cdot \Delta T_t \cdot 10^{-3} \right) \quad (3.23)$$

де а - коефіцієнт, що дорівнює 3 для трифазної мережі;

I_t - середнє значення сили струму навантаження, квадрат якого обчислюється за формулою (7.3) [20] для інтервалу часу T_t із умовно сталим навантаженням, А;

$$I^{2\cdot} = \frac{W_p^2}{b \cdot T_p^2 \cdot U_н^2} \qquad (3.24)$$

де W_P - перетікання відповідно активної енергії через елемент мережі за розрахунковий період, кВт·год;

T_P = 24 х N_d - кількість годин роботи елемента мережі під навантаженням протягом розрахункового періоду;

b - коефіцієнт, що дорівнює 3 для трифазної мережі;

U_H - номінальна напруга ПЛ (КЛ), кВ.

N_d = 345 діб/рік;

$$T_P = T_t = 24 \text{ х } 345 = 8280 \text{ год/рік}$$

$$W_P = P^* \times T_P = 368{,}4 \text{ кВт·год} \times 8280 \text{ год} = 3050352 \text{ кВт·год.}$$

U_H = 10 кВ.

$$I^{2\cdot} = \frac{3050352^2}{3 \cdot 8280^2 \cdot 10^2} = 115{,}5A$$

Еквівалентний активний опір фази ЛЕП (Ом) розраховуємо за формулою:

$$R_{ВК} = \sum_{m=1}^{n} R_{Пm} \, l_m \qquad (3.25)$$

$R_{Пm}$ - питомий опір фази m-тої ділянки ЛЕП із однаковим перерізом проводу (кабелю), Ом/км;

l_m - довжина m-тої ділянки ЛЕП із однаковим перерізом проводу (кабелю), км;

n - кількість ділянок ЛЕП із однаковим перерізом проводу (кабелю).

Питомий опір фази проводу АС-35, $R_{Пm}$ = 0,7774 Ом/км

$$R_{ВК} = 0{,}7774 \text{ Ом/км} \times 2 \text{ км} = 1{,}5548 \text{ Ом}$$

Втрати активної енергії у кВт·год, в проводах АС-35, загальною довжиною 2 км, при передачі електроенергії з ГПП свинокомплексу до ПС «Компаніївка» 150/35/10:

$$W_П^{(p)} = 3 \cdot 115{,}5 \cdot 1{,}5548 \cdot 8280 \cdot 10^{-3} = 4460{,}8 \text{ кВт} \times \text{год}$$

Кількість активної електроенергії, що можливо буде продати за «зеленим» тарифом, після передачі до ПС «Компаніївка» 150/35/10 (на відстань 2-км), з врахуванням передбачуваних втрат в мережі, складе:

$$P^{**} = W_p - W_П^{(p)} = 3050352 - 4460{,}8 = 3045891 \text{ кВт} \times \text{год/рік}.$$

3.6 Висновки до розділу.

В результаті виконаних досліджень було виявлено енергетичний потенціал від утилізації рідкого гною на свинокомплексі ТОВ «Марлен-КД» шляхом застосування біогазової когенераційної технології, а також виконано обґрунтований підбір обладнання при роботі якого очікуваний вихід біогазу складе 7644 м^3/добу. Сумарний енергетичний ККД обладнання БКУ становить біля 88 %.

Прорахований матеріальний баланс показує показники утворення «твердих» біодобрив на рівні 24,1 тон/добу,та рідких на рівні 293,1 тон/добу.

В результаті аналізу варіантів утилізації надлишкового тепла БКУ виявлено оптимальний шлях внаслідок використання додаткового обладнання ORC-модулю, застосування якого дозволяє отримати додаткову кількість електричної енергії – біля 150 кВт електричної енергії з 1000 кВт тепла.

Виконано розрахунок очікуваної кількості електричної енергії від застосування БКУ та ORC-модулю, величини якої з врахуванням втрат, дозволять повністю забезпечувати потреби в електриці свинокомплексу ТОВ «Марлен-КД», а також передавати 3045891 кВт × год/рік електричної енергії за «зеленим» тарифом в мережу ПС «Компаніївка» 150/35/10.

Загальна схема утилізації рідкого гною на свинокомплексі ТОВ "Марлен-КД" шляхом застосування біогазової когенераційної технології та ORC-модулю представлена на рисунку 3.18.

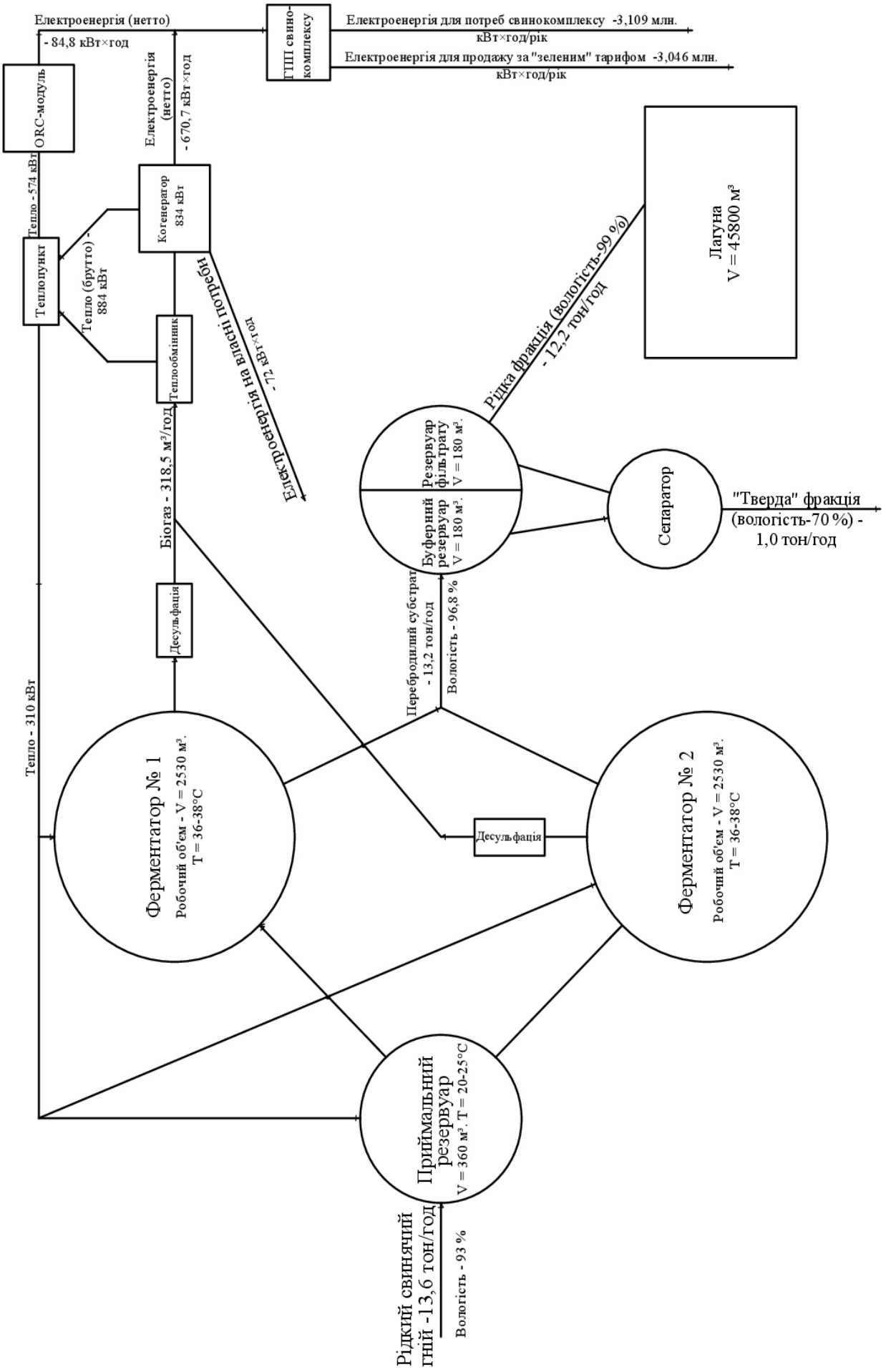


Рисунок 3.18 - Загальна схема утилізації рідкого гною на свинокомплексі ТОВ "Марлен-КД" шляхом застосування біогазової когенераційної технології та ORC-модулю

4. СИСТЕМА ОБЛІКУ ЕНЕРГОНОСІЇВ БІОГАЗОВОЇ КОГЕНЕРАЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ

4.1.Характеристики датчиків для контрольно-вимірювальних приладів.

Здійснення програмного управління технологічним процесом відбувається при допомозі контрольно-вимірювальних приладів.

Облік енергоносіїв в біогазовій когенераційній установці здійснюється за допомогою температурних датчиків та датчиків тиску, які встановлені в трубопроводах теплоносія теплопункту та трубопроводах виходу біогазу з газгольдерів.

Термоперетворювачі (датчики температури) з кабельним виводом використовуються для безперервного вимірювання температури робочого середовища. В якості контролюючого об’єкту виступають теплоносій та біогаз.

Принцип роботи полягає в зміні електричного опору в провіднику датчиків пропорційно температурі навколишнього середовища,

Наявність кабельного виводу забезпечує швидкість та зручність монтажу, але при цьому обмежує верхню межу вимірюваного диапазону температур, який складає 125 °С для датчиків з мідним чутливим елементом.

Номинальні статичні характеристики датчиків згідно ДСТУ 2858:2015: $W_{100} = 1{,}391$, $\alpha = 0{,}00391$ °C^{-1}. Схема підключення - двопровідна. Для живлення використовується постійний струм напругою 24 В. Максимальна потужність споживання – 0,8 Вт. Вихідний сигнал: 4…20 мА, HART. Стійкість до зовнішніх механічних впливів по ГОСТ 12997-84 – термоперетворювачі опору без монтажних елементів (в гладкій захисній арматурі з неіржавіючої сталі) відповідають группі V2.

Всі датчики температури обладнані захисними гільзами та бобишками. Датчики, які використовуються для вимірювання температури біогазу виконані у вибухозахисному вмконанні ДТС125.ЕХ.Показники надійності термометрів опору при дотриманні умов експлуатації (вірогідність безвідмовної роботи) в діапазоні температур від -25 до +125 °С – не менше 0,95 за 15 000 год.

Температурна похибка ± 0,1 °С.

Всі термоперетворювачі опору проходять первинну повірку на заводі-виробнику та мають відповідні сертифікати.

Датчики тиску призначенні для безперервного перетворення тиску-розрідження в уніфікований цифровий електричний сигнал, з метою контролювання параметрів технологічного процесу в автоматизованій системі керування БКУ.

Датчики відносяться до корозійностійких, а для біогазу – передбачені в вибухозахисному виконанні. Рівень вибухозахисту «1» з видом вибухозахисту «вибухобезпечна оболонка» згідно ГОСТ 22782.6, ГОСТ 22782.3, ГОСТ 22782.0

Максимальна температура вимірюваного середовища – 120 °С.

Диапазон вимірювання тиску розрідження – від -12,5 до 150 кПа.

Границя основної допустимої похибки ± 0,2 %.

Споживана потужність датчиками при напрузі 24 В, - 0,8 Вт. Вихідний сигнал до 20 мА.

Середній термін служби датчиків, які працюють в агресивних умовах – 6 років.

Облік електроенергії здійснюється на стороні низької напруги – 0,4 кВ.

Кількість лічильників що встановлюються визначаємо за формулою :

$$N = \frac{P_{ср}}{kP_{ном}}, \tag{4.1}$$

де $P_{ср}$ – середня потужність підприємства (приймемо що $P_{ср}$ = 755,5 кВт);

k = 0,9 – коефіцієнт найбільш вірогідного завантаження споживача;

$P_{ном}$ – номінальна потужність лічильника, кВт.

Номінальна потужність лічильників трансформаторного включення визначається за формулою:

$$P_{ном} = \sqrt{3}U_{н}I_{н}K_{U}K_{Iср}, \tag{4.2}$$

де $U_{н}$ і $I_{н}$ – відповідно номінальна напруга і номінальний струм лічильників (для лічильників трансформаторного включення $U_{н}$ = 100 В, $I_{н}$ = 5 А), K_{U} і K_{I} – відповідно значення коефіцієнта трансформації трансформаторів напруги і

середнє значення коефіцієнта трансформації трансформаторів струму яке визначається за формулою:

$$K_{\text{Iср}} = \frac{\sum nK_{\text{I}}}{\sum n}, \tag{4.3}$$

4.2. Вибір типу та кількості лічильників

Для вимірювань електроенергії нееохідно застосувати лічильники активної та реактивної енергії з класом точності – 0,5, вимірювальний трансформатор струму (ТС) і трансформатор напруги (ТН).

За необхідними параметрами передбачаємо до установки трансформатор струму типу ТТ-В80 1500/5 (Коефіцієнт трансформації струму – K_{I} = 300. Вартість т-ра – 1337 грн.) та трансформатор напруги НТС-0,5 О4 (Коефіцієнт трансформації струму – K_{U} =4. Вартість трансформатора -1500 грн.).

Визначимо номінальну потужність лічильника трансформаторного включення:

$$P_{\text{ном}} = \sqrt{3} \cdot 100 \cdot 5 \cdot 4 \cdot 300 = 1039230\,Вт = 1039\,кВт$$

Кількість лічильників, що встановлюються для обліку електричної енергії складе:

$$N = \frac{755{,}5}{0{,}9 \cdot 1039} = 0{,}81 \approx 1 \text{ лічильник}$$

Підбираємо багатофункціональний, трифазний, багатотарифний електронний лічильник МЕРКУРІЙ 234 ARTM(2) на сучасній цифровій базі, який відповідає всим сучасним вимогам до лічильників активної та реактивної енергії відповідного класу точності з одночасним виконанням функцій ряду вимірювальних перетворень.

Лічильник призначений для одно- або двонаправленого обліку активної і реактивної електричної енергії і потужності в трифазних 3-х або 4-х провідних мережах змінного струму через вимірювальні трансформатори або безпосередньо, з можливістю тарифного обліку по зонах доби, довготривалого зберігання і

передачі накопиченої інформації по цифровим інтерфейсним дротовим або бездротовим каналам зв'язку до центрів збору інформації.

Експлуатуються автономно або в складі будь-яких інформаційно-вимірювальних систем технічного та комерційного обліку.

Технічні особливості:

• Оптопорт і RS-485.

• Можливість заміни елемента живлення без зняття пломби держповірки

• Додаткові інтерфейси на змінних модулях:

RS-485, GSM / GPRS, PLC-II.

• Лічильник з GSM \ GPRS модулем включений в ланцюг лічильників об'єднаних RS485 інтерфейсом забезпечує дистанційний доступ до будь-якого лічильника по каналу GSM.

• Можливість підключення резервного живлення постійної напруги Uрез = + 5 ... 12 В.

• Багатофункціональний гальванічно розв'язаний імпульсний вихід.

• Лічильники ART підсумовують обсяги прийнятої і відданої електроенергії і забезпечують позитивний приріст показань в регістрі "прийом" при будь-якому напрямку енергії, в тому числі при зворотному підключенні струмових ланцюгів (підсумовування по модулю).

Лічильники ART2 ведуть окремий облік прийнятої та відданої електроенергії.

• Автоматична самодіагностика з індикацією помилок

• Вбудоване реле на 100А

• 2-і електронні пломби

• Фіксація впливу магнітним полем

• Підсвічування РК

• Модифікації з протоколом DLMS.

Основні технічні характеристики лічильника МЕРКУРІЙ 234 ARTM(2) представлені в таблиці 4.1 [21].

Таблиця 4.1 - Технічні характеристики лічильника МЕРКУРІЙ 234 ARTM(2)

Найменування параметрів	Величини
Клас точності (актив./реактив.)	0,5S/1,0
Номінальна напруга, В	3*57,7/100
Граничний робочий діапазон напруг, В	0...264
Номінальний (максимальний) струм, А	5(10)
Частота мережі , Гц	49...51
Максимальний струм на протязі 0,5 сек, А	200
Максимальний струм на протязі 10 мсек, А	3000
Стартовий струм (чутливість), А	0,020
Напруга зовнішнього резервного живлення, В	+5...12 В
Повна потужність, що споживається ланцюгом струму не більше, В*А	0,3
Кількість тарифів	1...4
Кількість тарифних сезонів (місяців)	12
Кількість гальванічно розв’язанихї імпульсних виходів: - телеметричних - управління навантаженням	1 програмований 1
Збереження даних при перервах живлення, років - постійної інформації - оперативної інформації	 40 10
Швидкість обміну, бит/с:	300 - 115200
Самодіагностика лічильника	є
Ступінь захисту корпуса	IP51
Діапазон температур, °С	від - 45 до +75
Міжповірковий інтервал, років	16
Маса,кг	не більше 1,8
Габарити (довжина, ширина, висота), мм	300*174*78
Середній наробіток на відмову, год	220000
Термін служби не менше, років	30
Гарантія виробника, років	3
Вартість лічильника, грн.	5400

4.3 Висновки до розділу

В процесі дослідження встановлено необхідні параметри вимірювального обладнання для обліку енергоносії БКУ з ORC-модулем. Виконано підбір лічильника вимірювання кількості виробленої електричної енергії, та обладнання необхідного для його встановлення.

Для виконання обліку виробленої електричної енергії на стороні низької напруги – 0,4 кВ, передбачено встановлення лічильника МЕРКУРІЙ 234 ARTM(2), підключеного до мережі за допомогою трансформатору струму ТТ-В80 1500/5 та трансформатору напруги НТС-0,5 О4.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Розглянуто стан та виконано аналіз структури споживання теплової і електричної енергії свинокомплексами. Показано переваги застосування когенераційної технології для тепло та електропостачання

2. Запропоновано схемно-технологічне рішення утилізації рідкого гною на прикладі свинокомплексу ТОВ "Марлен-КД" шляхом застосування біогазової когенераційної установки (БКУ) та ORC-модулю.

3. Розраховано енергетичний потенціал від утилізації рідкого гною на свинокомплексі ТОВ «Марлен-КД» шляхом застосування біогазової когенераційної технології, а також виконано обґрунтований підбір обладнання при роботі якого очікуваний вихід біогазу складе 7644 м^3/добу.

4. Сумарний енергетичний ККД обладнання БКУ становить біля 88 %. очікуваний вихід виробленої електроенергії складає 670,7 кВт ×год та 574 кВт×год теплової енергії.

5. Виконані розрахунки показали, що електричної енергії, виробленої при застосуванні БКУ та ORC-модулю, буде достатньо як для повного забезпечення потреби в електриці свинокомплексу ТОВ «Марлен-КД», так і для продажу її частини в кількості а 3045891 кВт × год/рік за «зеленим» тарифом.

6. Визначено необхідні параметри вимірювального обладнання для обліку енергоносіїв БКУ з ORC-модулем. Виконано підбір лічильника вимірювання кількості виробленої електричної енергії та обладнання необхідного для його встановлення: на стороні низької напруги – 0,4 кВ, передбачено встановлення лічильника МЕРКУРІЙ 234 ARTM(2), підключеного до мережі за допомогою трансформатору струму ТТ-В80 1500/5 та трансформатору напруги НТС-0,5 О4.

7. Розрахований дисконтний період окупності впровадження системи енергопостачання свинокомплексу ТОВ „Марлен-КД” з використанням біогазової когенераційної установки і ORC-модуля та утилізацією рідкого гною з дисконтною ставкою 10 % складає біля 5 років,тобто значно менший від розрахункового життя проекту – в середньому більше 20 років. Тому

впровадження пропонованої системи енергопостачання є економічно привабливим, особливо в довгостроковій перспективі.

8. Виробничий цикл вирощування свиней на свинокомплексі ТОВ «Марлен-КД» з утилізацією рідкого гною в БКУ дозволяє використовувати відновлювальне джерело енергії – біогаз та зменшити забруднення довкілля. Залишки, що утворилися в процесі анаеробного зброджування, можуть вноситись на с/г угіддя в якості біодобрива протягом всього року.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Постанова Кабінету Міністрів України від 9 липня 2014 р. № 293 «Про стимулювання заміщення природного газу у сфері теплопостачання» (Із змінами, внесеними згідно з Постановою КМ № 451 від 10.09.2014) [Текст] / Верховна Рада України. – Офіц. вид. – К.: Офіційний вісник України, 2014. – № 62. – С. 34.

2. Закон України «Про електроенергетику» від 16 жовтня 1997 р. № 575/97-ВР (Із змінами) [Текст] / Верховна Рада України. – Офіц. вид. – К.: Офіційний вісник України. – 1997. – № 1. – С. 1.

3. Інформаційний дайджест компанії Pro-Consulting від 31.10.2017 р., https://pro-consulting.ua/ua/pressroom/sila-prirody-ukrainskij-rynok-alternativnoj-energetiki

4. Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 18.07.2017 р., № 605-Р

5. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.). IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.].Climate Change 2014: Synthesis Report.. IPCC (2015).

6. Токарчук Д.М., к.е.н., асистент, Яремчук О.В., Виробництво і використання біогазу в Україні: економічні і соціальні перспективи. Вінницький національний аграрний університет.

7. Біогазові технологія як засіб досягнення енергетичної незалежності України/Матвеєв Ю.Б. (Біоенергетична асоціація України, НТЦ Біомаса); Київ, - 2015 р., 34 с.

8. Електронний ресурс: http://chz.org.ua/wp-content/uploads/2016/04/біогазова-установка-для-українського-споживача.pdf

9. В.С.Таргоня, В.В.Оверченко, Б.В. Щербак. Методичні вказівки до

проведення лабораторних занять занять із дисципліни «Технології біовиробництва». Частина 1. Визначення обсягів вторинної сировини та розрахунок можливого виходу біогазу на тваринницьких фермах та комплексах. Національний університет біоресурсів і природокористування України ННІ рослинництва , екології і біотехнологій. 2013 р.

10. Відомчі норми технологічного проектування. ВНТП – АПК 02.05. Свинарські підприємства (комплекси, ферми, малі ферми), Мінагрополітики України, К.: – 2005.- 97 с.

11. Барбара Едер, Хайнс Шульц. Біогазові установки. Практичний посібник. 1996 р., - 268 с. Перевод с німецького виконаний компанією Zorg Biogas в 2008 р.

12. Про внесення змін до Закону України "Про побічні продукти тваринного походження, не призначені для споживання людиною" щодо узгодження його положень у сфері поводження з продуктами тваринного походження, що належать до категорії II, з вимогами законодавства ЄС. Закон України від 20.09.2016 № 1531-VIII. / Верховна Рада України.

13. Збірник показників емісії (питомих викидів) забруднюючих речовин в атмосферне повітря різними виробництвами. Том III. УкрНЦТЕ., - Донецьк.: - 2004 р.-119 с.

14. Г. С. Ратушняк. Енергозберігаючі відновлювальні джерела теплопостачання/Г.С Ратушняк, В. В. Джеджула, К. В. Анохіна. – Вінниця: ВНТУ, 2010. – 170 ст.

15. Теплова ізоляція будівель : ДБН В.2.6-31:2006. – [Чинний від 2006-09-09]. - К.: Мінбуд України, 2006.– 65 с. – (Національний стандарт України).

16. Будівельна кліматологія : ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. – [Чинний від 2011-11-01]. - К.: Мінрегіонбуд України, 2011.– 123 с. – (Національний стандарт України).

17. VRF или чиллер? Сравнительный анализ на основании теории оптимизации. Сергей Брух/ https://www.c-o-k.ru/articles/vrf-ili-chiller-sravnitel-nyy-analiz-na-osnove-teorii-optimizacii

18. Електропостачання промислових підприємств. Методичні вказівки до виконання курсового проекту по електропостачанню цехів для студентів спеціальності 8.090603 «Електротехнічні системи електроспоживання» та спеціальності 7.090603 «Енергетичний контроль та маркетинг в енергетиці». /Укл. П.Г. Плєшков, Ю.І. Казанцев, Н.Ю. Гарасьова, Т.В. Величко. – Кіровоград: КДТУ, 2003.- 103 с.

19. Правила влаштування енергоустановок. Міненерговугілля України.- Київ, 2017. – 617 с.

20. Про Методичні рекомендації визначення технологічних витрат електричної енергії в трансформаторах і лініях електропередавання Міненерговугілля України; Наказ, Рекомендації, Порядок від 21.06.2013 № 399

21. Електронний ресурс: http://www.incotexcom.ru/m234art.htm

22. ГОСТ 12.0.003-74 – Небезпечні та шкідливі фактори праці. Держстандарт СРСР від 18.11.1974 р. № 2551

23. ДСН 3.3.6.037-99 “Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку”. МОЗ України.: Київ. – 1999 р. – 34 с.

24. Проектування систем електропостачання. Методичні вказівки до виконання організаційно-економічних розрахунків. Міністерство освіти і науки України, КНТУ. Кафедра економіки та організації виробництва. Кіровоград. - 2014 р. – 36 с.

25. Синягин Н.Н. и др. Система планово-предупредительного ремонта оборудования и сетей промышленной энергетики. 3-е изд. Москва. Энергоатомиздат. 1984 г. – 634 с.

26. Постанова НКРЕ № 1421 від 02.11.2012 р.. Порядок встановлення, перегляду та припинення дії "зеленого" тарифу на електричну енергію для суб'єктів господарської діяльності та приватних домогосподарств

27. Податковий кодексУкраїни, редакція від 04.10.2018 р. N 2755-VI зі змінами

28. ГКД 34.02.305-2002 "Викиди забруднюючих речовин в атмосферу від енергетичних установок". Методика визначення. Київ, 2002р. – 75 с.

ДОДАТОК А.

А. ОХОРОНА ПРАЦІ

А1. Аналіз небезпечних та шкідливихчинників при експлуатації біогазової установки

Розглядаються умови з охорони праці при експлуатації біогазової енергетичної установки. На оперативно-ремонтний персонал, який обслуговує таке обладнання, згідно ГОСТ 12.0.003-74 діють такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

1). фізичні: - підвищений рівень шуму на робочому місці; - підвищена температура повітря робочої зони; - підвищена та знижена рухомість повітря; - недостатнє природне освітлення; - підвищений рівень вібрації; - підвищена вологість повітря; - підвищена загазованість повітря робочої зони; - недостатнє освітлення робочої зони; - небезпечний рівень напруги в електричному колі, замикання якого може пройти через тіло людини.

2) психофізіологічні: - фізичні перевантаження (динамічні); - нервово-психічні перевантаження (монотонність праці, перенапруга аналізаторів).

А2. Технічні рішення щодо безпечної експлуатації об’єкта

У приміщеннях використовується трифазна чотирьохпровідна мережа із заземленою нейтраллю напругою 380/220 В. Відповідно з ГОСТ 12.1.013-78 [22] умови праці за ступенем небезпеки ураження працівників електричним струмом є умовами з підвищеною небезпекою, тому що підлога у приміщеннях є струмонепровідною.

Згідно із ГОСТ 12.1.030-81, в якості захисту від ураження людей електричним струмом застосовується заземлення. Крім того безпека експлуатації при нормальному режимі роботи забезпечується застосуванням ізолювальних пристроїв, огородженням струмоведучих частин.

Особи, що обслуговують електроустановки повинні користуватися засобами індивідуального захисту (ЗІЗ) - спецвзуття, рукавиці. Засоби захисту необхідно

періодично випробувати, їх слід захищати від механічних пошкоджень, впливу факторів, що погіршують їх діелектричні властивості.

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

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

В установках напругою до 1 кВ огородження роблять суцільними. Безпечні відстані між огородженнями і не ізольованими струмоведучими частинами – регламентуються ПУЕ, і в установках до 1 кВ із суцільними огородженнями - 5см. Висота розміщення не огороджених струмоведучих частин залежить від значення напруги і рівня підготовки людей, що працюють з електроустаткуванням. Струмоведучі частини напругою до 1 кВ у місцях, де працюють люди, повинні бути розміщенні на висоті не менше 3,5 м.

Необхідно здійснювати постійний контроль за ізоляцією, тому що з плином часу відбувається її старіння, що може привести до пробою і створити небезпеку при дотику людини до ізольованих проводів. Використовують наступні кольори для маркування ізоляції: чорна - для силових ланцюгів; червона - для ланцюгів керування.

Обов'язкова установка захисного заземлення. При виконанні робіт зі зняттям напруги встановлювати заземлення на струмовідні частини необхідно безпосередньо після перевірки відсутності напруги. Переносні заземлення спочатку треба приєднати до заземлювального пристрою, а потім, після перевірки відсутності напруги, встановити на струмовідвідні частини.

Знімати переносне заземлення необхідно в зворотній послідовності: спочатку зняти його зі струмовідних частин, а потім із заземлювального пристрою.

Встановлення і зняття переносних заземлень слід виконувати в діелектричних рукавичках із застосуванням в електроустановках понад 1000 В

ізолювальної штанги. Закріплювати затискачі переносних заземлень слід цією ж штангою або безпосередньо руками в діелектричних рукавичках. Забороняється користуватися для заземлення провідниками, не призначеними для цього, а також, приєднувати заземлення за допомогою скручування.

В електроустановках понад 1000 В заземлювати слід струмовідні частини всіх фаз (полюсів) відключеної для робіт дільниці з усіх боків, з яких може бути подана напруга, за винятком відключених для робіт збірних шин, на які достатньо встановити одне заземлення. Під час робіт на відключеному лінійному роз'єднувачі на проводи спусків з боку повітряної лінії, незалежно від наявності заземлювальних ножів, має бути встановлене таке додаткове заземлення, яке не порушується під час виконання операцій з роз'єднувачем.

Заземлені струмовідвідні частини мають бути відокремлені від струмовідвідних частин, що перебувають під напругою, видимим розривом (вимкненими вимикачами, роз'єднувачами, відокремлювачами або вимикачами навантаження, знятими запобіжниками, демонтованими шинами або проводами). Безпосередньо на робочому місці заземлення додатково встановлюється в тих випадках, коли ці частини можуть опинитися під наведеною напругою (потенціалом), яка може викликати ураження струмом, або коли на них може бути подана напруга понад 42 В змінного і 110 В постійного струму від стороннього джерела.

В закритих розподільчих установках (ЗРУ) переносні заземлення встановлюються на струмовідвідні частини в призначених для цього місцях. Ці місця очищуються від фарби і обплямовуються чорними смугами. В ЗРУ і відкритих розподільчих установках (ВРУ) місця приєднання переносних заземлень до магістралей заземлень або до заземлених конструкцій мають бути очищені від фарби і пристосовані для закріплення.

В електроустановках, конструкція яких така, що встановлення заземлень небезпечне (наприклад, в деяких розподільчих скринях, КРУ окремих типів, збірках з вертикальним розташуванням фаз), під час підготовки робочого місця слід вжити додаткових заходів безпеки, що перешкоджають помилковому

поданню напруги до місця роботи: приводи і вимкнені апарати замикаються на замок, на ножі або верхні контакти роз'єднувачів рубильників, автоматів тощо встановлюються гумові ковпаки або спеціальні накладки з ізоляційних матеріалів; запобіжники, ввімкнені послідовно з комутаційними апаратами, знімаються. Ці технічні заходи мають бути вказані в місцевій інструкції з експлуатації. В разі неможливості вжиття зазначених додаткових заходів мають бути від'єднані кінці лінії живлення - в розподільчих установках (РУ), на щиті, збірці або безпосередньо на місці роботи.

Список таких електроустановок визначається і затверджується особою, відповідальною за електрогосподарство.

Під час робіт в РУ встановлювати заземлення на протилежних кінцях ліній, що живлять це РУ, не потрібно, крім випадків, коли під час проведення робіт необхідно знімати заземлення з вводів ліній. В електроустановках до 1000 В під час робіт на збірних шинах: РУ, щитів, збірок, напруга з шин має бути знята, і шини (за винятком шин, що виконані ізольованим проводом) мають бути заземленими. Необхідність і можливість встановлення заземлення на приєднання цих РУ, щитів, збірок і підключеного до них устаткування, визначає особа, яка видає наряд (розпорядження).

В електроустановках напругою до 1000 В всі операції зі встановлення і зняття заземлень дозволяється виконувати одній особі з групою III з числа оперативних чи оперативно-ремонтних працівників. Встановлення переносних заземлень у цьому випадку проводиться з землі за умови застосування спеціальної ізолювальної штанги, якою можна не тільки встановлювати, але і закріплювати ці заземлення.

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

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

Передбачена проектом апаратура повинна експлуатуватися у відповідності з паспортними значеннями номінального струму та напруги. В процесі експлуатації слід постійно контролювати стан контактних сполучень та ізоляції апаратури, відсутність слідів дуги та оплавлення ошинування, опір ізоляції силових та освітлювальних мереж, правильність підключення. На всіх підготовлених місцях роботи після влаштування заземлення вивішується плакат "Працювати тут ".

А3.Пожежна безпека

Приміщення, в яких розташоване обладнання, за вибухопожежонебезпекою відносяться до виробництв категорії Д (ОНТП 24-86).

Будівлі, де вони розташовані, відносяться до I ступеня вогнестійкості. До ступені вогнестійкості I відносяться будівлі з несучими і відгороджуючими конструкціями з природних та штучних кам'яних матеріалів, бетонних або залізобетонних із застосуванням листових та плитних негорючих матеріалів. В покриттях будівель допускається застосовувати незахищені сталеві конструкції.

Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій, год.(над рискою) і максимальні межі розповсюдження вогню по ним, см. (під рискою):

Стіни несучі і сходові клітини – 2.5/0;

Стіни самонесучі – 1.25/0;

Стіни зовнішні ненесучі (у тому числі з навісних панелей) – 0,5/0;

Стіни внутрішні ненесучі (перегородки) – 0,5/0;

Колони – 2.5/0;

Елементи покрить: плити, настили (у тому числі з утеплювачем) і прогони – 1/0;

Елементи покриття: балки, ферми, арки, рами – 0,5/0.

Відстань від найбільш віддаленого робочого місця до ближчого евакуаційного виходу із приміщення безпосередньо зовні не обмежується незалежно від об'єму приміщення для категорії приміщення Д і ступені вогнестійкості будівлі І.

Для категорії приміщення Д, ступеня вогнестійкості І, незалежно від об'єму кількість людей на 1 м ширини евакуаційного виходу (дверей) повинна бути не більше 260 чол./м. Ширина дверей у приміщеннях – 1 м, у приміщеннях працює до 2 чоловік, що відповідає нормованому значенню.

Для первинних протипожежних заходів встановлюється пожежний щит, до комплекту якого входять: вуглекислотні вогнегасники ВВ-5 - 3 шт., ящик із піском місткістю 3м^3 - 1 шт., покривало з негорючого теплоізолюючого матеріалу розміром 2м х 2м - 1шт., лопати 2шт., ломи - 2шт., сокири – 2 шт., гаки - 3 шт.

ДОДАТОК Б.

Б. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ БІОГАЗОВОЇ КОГЕНЕРАЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ НА СВИНОКОМПЛЕКСІ ТОВ «МАРЛЕН-КД»

Проведемо економічну оцінку підвищення енергетичної ефективності свинокомплексу закритого типу ТОВ «Марлен-КД» за рахунок впровадження біоенергетичної когенераційної технології та використання ORC-модуля

В якості вихідної сировини для отримання біогазу в біогазовій установці, використовується побічна продукція свинокомплексу – рідкий свинячий гній з товарною вартістю біля 5 грн./т.

Після зброджування гною в біогазовій установці отримуємо:

- біогаз, який підлягає спалюванню в когенераційній установці, з отриманням електричної та теплової енергії;

- рідкі та «тверді» біодобрива.

Надлишкове тепло після БКУ використовується для вироблення електричної енергії в ORC-модулю.

В інвестиційну вартість енергетичної станції входять наступні основні складові:

• Вартість конструкторської, проектно-кошторисної та робочої документації на установку;

• Вартість і доставка обладнання;

• Вартість будівельно-монтажних робіт;

• Вартість пусконалагоджувальних робіт;

• Інше (дозволи, узгодження, навчання персоналу, підключення до енергомережі та ін.).

Експлуатація установки вимагає нагляду, а так само постійних профілактичних робіт. Обслуговуючий персонал – 6 чоловік.

При утилізації рідкого гною внаслідок застосування БКУ та ORC-модулю маємо наступні вигоди:

- вироблення електричної енергії для власних потреб підприємства та на продаж за «зеленим» тарифом;

- виробництво рідких та «твердих» органічних добрив;

- позитивний екологічний ефект, за рахунок зменшення екологічних платежів за забруднення атмосферного повітря, а також сприяння зменшенню забруднення довкілля внаслідок через відсутність споживання електроенергії з мережі (зменшення техногенного навантаження від ТЕЦ).

Б1. Розрахунок капітальних витрат

В загальному випадку капітальні витрати включають в себе [24]:

$$К = К_{буд} + К_{об} + К_{дод} \quad (Б1)$$

Де, $К_{буд}$ – капіталовкладення в будівлі і споруди;

$К_{об}$ – капіталовкладення в обладнання, які включають: витрати на придбання, доставку, монтаж, пусконалагоджувальні роботи;

$К_{дод}$ – додаткові капіталовкладення до складу яких входять: витрати на підготовку проектно-кошторисної документації, авторський нагляд за будівництвом, вартість нематеріальних активів таке ін.

Кошторисна вартість будівельно-монтажних робіт згідно комерційної пропозиції ТОВ «Зорг Біогаз Україна» - $К_{буд}$ = 59535 тис. грн.

Капіталовкладення в обладнання розраховується за наступною формулою:

$$К_{об} = Ц_{об} \cdot Q_{з} \cdot (1 + \frac{к_{д}}{100} + \frac{к_{м}}{100}), \quad (Б2)$$

де $Ц_{об}$ – ціна обладнання;

$Q_{р}$ – обсяг закупівлі в натуральних одиницях;

$к_{д}$ – відсоток витрат, пов’язаних з доставкою обладнання. В розрахунках може бути прийнятий 5-12% від ціни обладнання;

$к_{м}$ – коефіцієнт, який враховує витрати на монтаж обладнання та пусконалагоджувальні роботи.

Величина $к_{м}$ залежить від типу обладнання і для більшості технічних засобів складає 15-25% від ціни придбання.

Результати розрахунку капіталовкладень в обладнання зводимо до табл. Б1.

Таблиця Б1 - Розрахунок капіталовкладень в обладнання

Найменування і технічна характеристика обладнання	Од. вимі-рюв.	Кіль кість	Ціна, грн	Вартість, грн.	$к_{тр}$, %	$к_{м}$, %	Всього, грн
Технологічне обладнання БГУ (мішалки, трубопроводи, теплопункт, сепаратор та ін.)	-	-	-	39690000	-	5	41674500
Когенераційний блок	шт.	1	23814000	23814000	-	5	25004700
ORC-модуль	шт.	1	19845000	19845000	-	5	20837250
Кабель ВВГ (4х150)	м	180	2700	486000	9	24,7	649782
Трансформатор струму типу ТТ-В80 1500/5	шт.	1	2407	2407	9	20	3105
Трансформатор напруги НТС-0,5 О4	шт.	1	2700	2700	9	20	3483
Багатофункціональний, трифазний, багатотарифний електронний лічильник МЕРКУРІЙ 234 ARTM(2)	шт.	1	9720	9720	9	20	12539
ВСЬОГО ($К_{об}$)						88185358	

Розмір додаткових капіталовкладень, пов’язаних з дослідженнями, розробкою проектної документації, отриманням технічних умов, узгоджень та дозволів, визначається на договірній основі між замовником (інвестором) та організацією, що має ліцензію на виконання даних робіт.

Приймаємо $К_{дод}$ = 2,7 млн. грн.

Тоді капітальні витрати складуть:

$$К = 59535000 + 88185358 + 2700000 = 150420358 \text{ грн.}$$

Б2. Розрахунок експлуатаційних витрат

Загальні експлуатаційні витрати вираховуються за формулою:

$$З_{ек.} = В_{сир} + З_{одс} + В_{м} + В_{вир} + А + В_{ін} \quad (Б3)$$

де $В_{сир}$ – вартість сировини, грн.;

$З_{одс}$ – заробітна плата робітників основна, додаткова з відрахуваннями на соціальні потреби, грн.;

$В_{м}$ – вартість експлуатаційних та ремонтних матеріалів, грн;

$В_{вир}$ – загальновиробничі витрати, грн;

$А$ – амортизаційні відрахування, грн.;

$В_{ін}$ – інші витрати, грн.

Рідкий гній відноситься до побічних продуктів свинарства, тому врахуємо його вартість при розрахунках експлуатаційних витрат.

Вартість 1 тони гною оцінюється в розмірі 9,0 грн. за тону.

Річна кількість гною, що утворюється на свинокомплексі та надходить до БКУ – $Q_{г\ річний}$ = 112566 тон.

Загальна вартість всієї кількості гною, що надходить на утилізацію до БКУ:

$$В_{сир} = 112566 \times 9{,}0 = 1013094 \text{ грн.}$$

Визначимо середньорічну трудомісткість ремонтних та експлуатаційних робіт.

Нормативні (табличні) значення $Т_{рц}$; $Т_{рп}$; $Т_{оп}$ можуть бути відкориговані з урахуванням умов експлуатації за допомогою відповідних коефіцієнтів: для колекторних машин ($\beta_к$); коефіцієнта змінності роботи обладнання ($\beta_з$); коефіцієнта використання ($\beta_в$); коефіцієнта стаціонарності ($\beta_с$). Таким чином, планова тривалість ремонтного циклу:

$$T_{рц}^{пл} = T_{рц}^{таб} \times \beta_к \times \beta_з \times \beta_в \times \beta_с \quad (Б4)$$

Для енергетичного обладнання норми трудомісткості ремонтних робіт диференційовано в залежності від їх робочих параметрів, а для енергетичних мереж – в залежності від площі перетину та пропускної здатності.

Трудомісткість окремих видів ремонтних робіт та їхня сума за ремонтний цикл по кожному елементу системи енергопостачання визначається за формулами:

$$Q_i = Q_i^н \times n_i \times m_i \quad (Б5)$$

$$Q^{\Sigma} = Q_k + Q_m + Q_o \quad (Б6)$$

де $Q_i^н$ – нормативна трудомісткість і-го виду ремонтних робіт;

n_i – кількість ремонтів і-го виду за ремонтний цикл;

m_i – кількість однорідних елементів;

$Q^Σ$ – сумарна трудомісткість капітальних, поточних ремонтів та оглядів обладнання за ремонтний цикл.

Середньорічна трудомісткість ремонтних робот визначається за формулою:

$$Q_р = \frac{Q^Σ}{T_{рц}} \quad (Б7)$$

Річна трудомісткість робіт з технічного обслуговування по групі однорідних елементів визначається за формулою:

$$Q_{то} = k \times Q_m^н \times 12 \times m \times \beta_з \quad (Б8)$$

де $Q_m^н$– нормативна трудомісткість поточного ремонту;

$\beta_з$ – коефіцієнт змінності роботи підприємства.

$к$ – коефіцієнт, який для електричних мереж дорівнює 0,25, для іншого електрообладнання – 0,1.

Результати розрахунків подаються вигляді таблиці Б2, у підсумку якої знаходимо сумарну трудомісткість ремонтних та робіт з технічного обслуговування.

Річний фонд заробітної плати робітників включає в себе основну зарплату та додаткову заробітну плату, до якої належать премії та усі види грошових доплат.

Річний фонд заробітної плати ремонтних робітників ($Ф_р$), експлуатаційних робітників та постійного персоналу ($Ф_{оп}$), визначається за формулами:

$$Ф_р = Q_р \times l_{ср} \times K_д \quad (Б9)$$

$$Ф_е = Q_е \times l_{ек} \times K_д \quad (Б10)$$

$$Ф_{оп} = Q_{оп} \times l_{оп} \times K_д \quad (Б11)$$

де, $Q_{оп}$ – річний фонд робочого часу для постійного обслуговуючого персоналу БКУ з ORC-модулем, год/рік;

Таблиця Б2 - Розрахунок трудомісткості ремонтно-експлуатаційних робіт

Назва елементів	Кількість елементів шт., км	Тривалість, рік, міс.			Структура ремонтного циклу			Трудомісткість, норм-год								
								Нормативна			За ремонтний цикл				Річна	
		$T_{рц}$	$T_{рп}$	$T_{оп}$	$n_к$	$n_т$	$n_о$	$Q_к^н$	$Q_т^н$	$Q_о^н$	$Q_к$	$Q_т$	$Q_о$	Q^{Σ}	$Q_р$	$Q_{то}$
Технологічне обладнання БГУ (мішалки, трубо-проводи, теплопункт, сепаратор та ін.)	1	5	12	1	1	5	60	1900	570	57	1900	2850	3420	8170	1634	45,8
Когенераційний блок	1	3,8	3,8	0,4	1	12	114	312	62,4	6,2	312	748,8	706,8	1767,6	465,2	5
ORC-модуль	1	3,8	3,8	0,4	1	12	114	312	62,4	6,2	312	748,8	706,8	1767,6	465,2	5
Кабель ВВГ (4х150)	0,18	20	12	12	1	5	5	120	36	3,6	21,6	32,4	3,2	57,2	2,9	0,9
Трансформатор струму типу ТТ-В80 1500/5	1	2,25	9	1,0	1	3	27	23	7	0,5	23	21	13,5	57,5	25,6	0,6
Трансформатор напруги НТС-0,5 О4	1	2,25	9	1,0	1	3	27	32	10	1	32	30	27	89	39,6	1,2
Електронний лічильник МЕРКУРІЙ 234 ARTM(2)	1	5	12	30	1	5	1	3,7	1,4	0,2	3,7	6,0	0,2	9,9	2	0,2
ВСЬОГО														11918,8	2634,5	58,7

$l_{ср}$, $l_{оп}$, $l_{оп}$ – середня годинна тарифна ставка відповідно ремонтного робітника, експлуатаційного робітника та постійного обслуговуючого персоналу. Для розрахунків прийнята на рівні тарифної ставки V розряду для ремонтників (32 грн.), III розряду для експлуатаційників та постійного обслуговуючого персоналу (37 грн.).

$К_д$ – коефіцієнт, який враховує додаткову заробітну плату. В розрахунках прийнятий $К_д$ = 1,2.

Річний фонд робочого часу для постійного обслуговуючого персоналу БКУ з ORC-модулем розраховується за формулою:

$$Q_{оп} = n_д \times F_д \times (1 – С/100) + n_з \times F_з \quad (Б12)$$

де $n_д$, $n_з$ – кількість «денних» і змінних працівників, осіб ($n_д$=3 ос.; $n_з$=3 ос.);

$F_д$, $F_з$– номінальний річний фонд робочого часу роботи «денних» і змінних працівників, який в розрахунках прийнятий відповідно 2048 годин та 2760 годин;

$С$ – відсоток сумарних планових витрат робочого часу, який пов’язаний з плановими відпустками, з невиходами по захворюванню, з виконанням державних обов’язків. Орієнтовно прийнятий 10%.

Річний фонд робочого часу для постійного обслуговуючого персоналу складе:

$$Q_{оп} = 3 \times 2048 \times (1 – 10/100) + 3 \times 2760 = 13810 \text{ год.}$$

Річний фонд заробітної плати робітників складе:

$$Ф_р = 2634{,}5 \times 70{,}40 \times 1{,}2 = 222562{,}56 \text{ грн.};$$

$$Ф_{ек} = 58{,}7 \times 81{,}38 \times 1{,}2 = 5732{,}41 \text{ грн.};$$

$$Ф_{оп} = 13810 \times 81{,}38 \times 1{,}2 = 1348629{,}36 \text{ грн.}$$

Витрати на оплату праці ремонтних робітників з відрахуваннями на соціальні потреби визначимо по формулі:

$$З_р = 0{,}8 \times Ф_р \times (1 + Н_{соц}/100) \quad (Б13)$$

де 0,8 – коефіцієнт, який враховує долю поточних ремонтів у загальній кількості ремонтних робіт;

$Н_{соц}$ – норматив єдиного соціального внеску ($Н_{соц}$ = 22%):

$$З_р = 0{,}8 \times 222562{,}56 \times (1 + 22/100) = 213660{,}06 \text{ грн.}$$

Вартість ремонтних матеріалів прийнята в розмірі 85% від $З_р$:

Витрати на ремонтні роботи ($З_р$) визначаються за формулою:

$$В_{рем} = 0{,}85 \times З_р \quad (Б14)$$

де 0,85 – коефіцієнт, який враховує витрати на ремонтні роботи.

$$В_{рем} = 0{,}85 \times 213660{,}06 = 181611{,}05 \text{ грн.}$$

Витрати на оплату праці експлуатаційних робітників та обслуговуючого персоналу з відрахуванням на соціальні потреби визначимо по формулі:

$$З_{еоп} = (Ф_{ек} + Ф_{оп}) \times (1 + Н_{соц}/100) \quad (Б15)$$

$$З_{еоп} = (5732{,}41 + 1348629{,}36) \times (1 + 22/100) = 1652321{,}40 \text{ грн.}$$

Вартість експлуатаційних матеріалів прийнята в розмірі 20 % від $З_{оп}$.:

Витрати на експлуатацію ($В_{ек}$) визначаються за формулою:

$$В_{ек} = 0{,}2 \times З_{оп} \quad (Б16)$$

де 0,2 – коефіцієнт, який враховує витрати на експлуатацію.

$$В_{ек} = 0{,}2 \times 1652321{,}40 = 330464{,}28 \text{ грн.}$$

Загальні витрати на заробітну плату визначаються по формулі:

$$З_{одс} = З_р + З_{еоп} \quad (Б17)$$

$$З_{одс} = 213660{,}06 + 1652321{,}40 = 1865981{,}46 \text{ грн.}$$

Загальні витрати на експлуатаційні та ремонтні матеріали визначаються по формулі:

$$В_м = В_{рем} + В_{ек} \quad (Б18)$$

$$В_м = 181611{,}05 + 330464{,}28 = 512075{,}33 \text{ грн.}$$

Амортизаційні відрахування визначаються на основі даних про вартість основних фондів і річних норм амортизаційних відрахувань:

$$А = \frac{В_{ос} \times Н_а}{100} \quad (Б19)$$

де, $В_{ос}$ – вартість групи основних фондів, грн;

$Н_а$ – норма амортизації.

Вартість групи основних фондів:

$$В_{оф} = К_{буд} + К_{об} = 59535000 + 88185358 = 147720358 \text{ грн.}$$

Норма амортизації, при усередненому терміні експлуатації 20 років становить H_a = 5%.

Амортизаційні відрахування складуть:

$$А = 147720358 \times 0,05 = 7386018 \text{ грн.}$$

Загальновиробничі витрати включають в себе витрати на утримання служби головного енергетика, амортизацію адмінбудівль, витрати на відрядження та інше.

$$B_{вир} = Ф_р \cdot \frac{K_{зв}}{100} \quad (Б20)$$

де $K_{зв}$ – відсоток загальновиробничих витрат $К_{зв}$ =50%.

Загальновиробничі витрати складуть:

$$B_{вир} = 222562,56 \times 0,5 = 111281,28 \text{ грн.}$$

Інші витрати на утримання системи енергетичного постачання прийняті в розмірі 20% від витрат на поточний ремонт, які включають в заробітну плату ремонтних робітників з відрахуваннями та вартість ремонтних матеріалів:

$$B_{ін} = (З_р + B_{рем}) \times 0,2 \quad (Б21)$$

Інші витрати складуть:

$$B_{ін} = (213660,06 + 181611,05) \times 0,2 = 79054 \text{ грн.}$$

За результатами розрахунків складаємо річний кошторис витрат на експлуатацію системи енергопостачання (БКУ з ORC-модулем) (таблиці Б3).

Таблиця Б3 Кошторис витрат на експлуатацію системи енергопостачання

Стаття витрат	Витрати, грн.	Частка, %
Витрати на сировину	1013094	9,3
Основна та додаткова заробітна плата робітників з відрахуваннями на соціальні потреби	1865981	17,2
Вартість експлуатаційних матеріалів	512075	4,7
Амортизаційні відрахування	7386018	68,0
Загальновиробничі витрати	11128	0,1
Інші витрати	79054	0,7
Всього	10867350	100

Б3. Прибуток від утилізації рідкого гною в БКУ з ORC-модулем

Загальний прибуток ($П_з$) від утилізації рідкого гною в БКУ з ORC-модулем розраховуються за формулою:

$$П_з = П_{ел} + П_{зт} + П_{тд} + П_{рд} + П_{ек} \quad (Б22)$$

де $П_{ел}$ – прибуток за рахунок економії електроенергії, грн.;

$П_{зт}$ – прибуток від продажу електроенергії за «зеленим» тарифом, грн.;

$П_{тд}$ – прибуток від продажу «твердих» добрив, грн.;

$П_{рд}$ – прибуток від продажу рідких добрив, грн.;

$П_{ек}$ – прибуток за рахунок екологічного ефекту від утилізації рідкого гною в БКУ з ORC-модулем , грн.

Економія коштів на електрозабезпечення визначається по формулі:

$$П_{ел} = (Т^1 – С_{вп}) \times WP_{вп} \quad (Б23)$$

де $Т^1$ – тариф для промислових підприємств 1-го класу напруги на поточний період, $Т^1$ = 4,42 грн/ кВт × год;

$С_{вп}$ – собівартість корисно виробленої електричної енергії БКУ з ORC-модулем, грн/кВт × год;

$WP_{вп}$ – витрати електроенергії на власні потреби свинокомплексу, кВт × год/рік. ($WP_{вп}$ = 3109000 кВт/год./рік).

Собівартість корисно виробленої кВт × год електричної енергії визначається за формулою:

$$С_{вп} = \frac{П – В_{ек}}{WP_{кс}} \quad (Б24)$$

де, $П$ – вартість виробленої електроенергії, грн/рік;

$В_{ек}$ – експлуатаційні витрати на утримання системи енергопостачання, грн.;

$WP_{кс}$ – кількість виробленої на протязі року електроенергії, кВт × год.

Вартість виробленої електроенергії визначається за формулою:

$$П = WP_{вп} \times Т^1 + WP_{зт} \times РЗТ \quad (Б25)$$

де $WP_{зт}$ – кількість виробленої протягом року електроенергії для продажу за «зеленим» тарифом, кВт × год;

РЗТ – величина «зеленого» тарифу залежно від виду відновлюваного джерела енергії, грн/кВт·год.

Величина мінімального розміру «зеленого» тарифу розраховується за формулою [26]:

$$РЗТ = РЦ \cdot К\,, \qquad (Б26)$$

де *РЦ* – роздрібна ціна на електроенергію для споживачів другого класу напруги станом на січень 2009 р. (становила 0,5846 грн./кВт•год.);

К – коефіцієнт «зеленого» тарифу для електроенергії виробленої з біогазу, встановлений Законом України «Про альтернативні джерела енергії», *К* = 2,3; Визначимо мінімальний розмір «зеленого» тарифу за формулою (Б26):

$$РЗТ = 0{,}5846 \cdot 2{,}3 = 1{,}345 \text{ грн./кВт·год.}$$

Зіставимо офіційні курси гривні щодо курсу євро, встановлені Національним банком України станом на 1.01.2009 р. та на 2022 р. [26]:

$$37{,}9344 \text{ грн./€} / 10{,}85546 \text{ грн./€} = 3{,}49 > 1.$$

Розрахуємо величину «зеленого» тарифу на дату його перегляду:

$$РЗТ = 1{,}345 \cdot 3{,}49 = 4{,}70 \text{ грн./кВт·год.}$$

Кількість виробленої протягом року електроенергії для продажу за «зеленим» тарифом, – $Р^{**} = WP_{зт} = 3045891$ кВт × год.

Вартість виробленої електроенергії складе:

$$П = 3109000 \times 4{,}42 + 3045891 \times 4{,}70 = 14315688 \text{ грн.}$$

Загальна кількість корисно виробленої за рік електричної енергії складе:

$$WP_{кс} = WP_{вп} + WP_{з.т.} = 3109000 + 3045891 = 6154891 \text{ кВт} \times \text{год.}$$

Собівартість корисно виробленої кВт × год електричної енергії складе:

$$C_{кв} = \frac{14315688 - 10867350}{6154891} = 0{,}56 \text{ грн. / кВт} \times \text{год}$$

Економія коштів від електрозабезпечення свинокомплексу ТОВ «Марлен-КД» внаслідок впровадження біогазової когенераційної технології складе:

$$П_{ел} = (4{,}42 - 0{,}56) \times 3109000 = 12000740 \text{ грн./рік.}$$

Прибуток за рахунок продажу електроенергії за «зеленим» тарифом, складе:

$$П_{зт} = WP_{з.т.} \times РЗТ = 3045891 \times 4{,}70 = 14315688 \text{ грн./рік.}$$

Порахуємо прибуток від реалізації «твердих» біодобрив за формулою:

$$П_{тд} = Q_{тв.д.} \times Ц_{тв.д.}, \quad (Б27)$$

де $Q_{тв.д.}$ – річний обсяг вироблених «твердих» біодобрив ($Q_{тв.д.}$ = 8314,5 тон/рік);

$Ц_{тв.д.}$ – товарна вартість «твердих» біодобрив, грн/тону. Приймаємо $Ц_{тв.д.}$ = 720 грн./т.

Прибуток від реалізації «твердих» біодобрив складе:

$$П_{тд} = 8314,5 \times 720 = 5986440 \text{ грн/рік},$$

Порахуємо прибуток від реалізації рідких біодобрив по формулі:

$$П_{рд} = Q_{р.д.} \times Ц_{р.д.}, \quad (Б28)$$

де $Q_{р.д.}$ – річний обсяг вироблених рідких біодобрив, $Q_{р.д.}$ = 101119,5 тон/рік;

$Ц_{р.д.}$ – товарна вартість рідких біодобрив, грн./т. Приймаємо $Ц_{р.д.}$ = 90 грн./т.

Прибуток від реалізації рідких біодобрив складе:

$$П_{рд} = 101119,5 \times 90 = 9100755 \text{ грн./рік}.$$

Розрахунок екологічного ефекту від застосування БКУ для утилізації рідкого гною свинокомплексу ТОВ «Марлен-КД» представлений в додатку Б.

Величина екологічного ефекту від впровадження БКУ виражена в грошовій формі, складе: $П_{ек}$ = 99617,65 грн.

Прибутки від від утилізації рідкого гною на ТОВ «Марлен-КД» шляхом впровадження БКУ з ORC- модулем представлені в таблиці Б4.

Таблиця Б4 Прибутки від утилізації рідкого гною на ТОВ «Марлен-КД» шляхом впровадження БКУ з ORC- модулем

Найменування прибутку	Умовне познач.	Величина прибутку, грн.	Частка в %
Економія електроенергії на власні потреби свинокомплексу	$П_{ел}$	12000740	28,9
Продаж електроенергії по «зеленому» тарифу	$П_{зт}$	14315688	34,5
Реалізація «твердих» біодобрив (70% вологи)	$П_{тд}$	5986440	14,4
Реалізація рідких біодобрив (99% вологи)	$П_{рд}$	9100755	21,9
Екологічний ефект	$П_{ек}$	99618	0,2
Всього		41503241	100

Б4. Визначення показників економічної ефективності

Економічний ефект від впровадження застосування біогазової когенераційної установки на свинокомплексі ТОВ «Марлен-КД» визначимо за показником чистої теперішньої вартості (*NPV*):

$$NPV = \sum_{t=1}^{n} \frac{B_t - З_t}{(1+i)^t}, \qquad (Б29)$$

де B_t і $З_t$ – відповідно повні вигоди та витрати за рік *t*;

t – відповідний рік проекту (1, 2, 3, ... *n*); *n* – строк служби проекту, років;

i – ставка дисконту (для розрахунку було узято облікову ставку НБУ 25%);

$1/(1+r)^t$ – фактор теперішньої вартості або коефіцієнт дисконтування [1].

Щорічні недисконтовані вигоди (надходження від проекту) включають прибуток від реалізації продукції (*П*) та амортизаційні відрахування на реновацію будівель та обладнання (*А*):

$$B_t = П + A = 41503241 + 7386018 = 48889,26 \text{ тис. грн.} \qquad (Б30)$$

Витрати ($З_t$) включають капітальні вкладення у проект (*К*=150420,36 тис. грн.) та експлуатаційні витрати ($З_{ек}$=10867,35 тис. грн.). Приймемо, що інвестиції (капітальні вкладення) зроблено у нульовому році по відношенню до життєвого циклу проекту. Розрахунки виконаємо для строку служби проекту 10 років і зведемо до табл. Б5.

Таблиця Б5. Розрахунок показника *NPV* проекту

Роки проекту	Витрати $З_t$, тис. грн.	Надходження від проекту B_t, тис. грн.	Фактор теперішньої вартості	Приведені витрати, тис. грн.	Приведені грошо-ві надходження, тис. грн.	*NPV*, тис. грн.
0	150420,36	-	1	-150420,4	0	-150420
1	10867,35	48889,26	0,909	-9878,42	44440,34	-115858
2	10867,35	48889,26	0,826	-8976,43	40382,53	-84452,3
3	10867,35	48889,26	0,751	-8161,38	36715,83	-55897,9
4	10867,35	48889,26	0,683	-7422,40	33391,36	-29928,9
5	10867,35	48889,26	0,621	-6748,62	30360,23	-6317,32
6	10867,35	48889,26	0,564	-6129,19	27573,54	15127,04
7	10867,35	48889,26	0,513	-5574,95	25080,19	34632,28
8	10867,35	48889,26	0,467	-5075,05	22831,28	52388,51
9	10867,35	48889,26	0,424	-4607,76	20729,05	68509,8
10	10867,35	48889,26	0,386	-4194,80	18871,25	83186,26
Всього	-	-	-	-217189,4	300375,6	83186,26

Таким чином, позитивне значення показника чистої теперішньої вартості на рівні 83186,26 тис. грн. доводить доцільність впровадження запропонованого проекту.

Строк окупності інвестицій визначимо як відношення капітальних вкладень до середньої величини дисконтованого грошового потоку (вигід):

$$T_{ок} = \frac{150420,4}{30037,56} \approx 5,0 \text{ років}$$

Розрахунки виконано за умови, що абсолютні значення цін, обсягу та, відповідно, прибутковості залишаться незмінними протягом життєвого циклу проекту.

На даний момент загальновизнаною оцінкою різних пропозицій енергетичного обладнання є показник питомої вартості встановленого кіловата електричної потужності установки. Цей критерій визначається відношенням капітальних затрат до встановленої електричної енергії вираженої в кВт × год:

150420358 грн. / **(**6154891 кВт × год/рік : 8280 год/рік) = 202356 грн./кВт × год = 5334 €/кВт × год