

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Факультет інженерії та енергетики  
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота  
на правах рукопису

**ОВСІЙЧУК ОЛЕКСАНДР ЛЕОНІДОВИЧ**

**УДК 662.63**

## **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

### **УДОСКОНАЛЕННЯ ПОТОКОВО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЛІНІЇ ПРИБИРАННЯ ТА УТИЛІЗАЦІЇ ГНОЮ З РОЗРОБКОЮ КОНСТРУКЦІЇ БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ**

(тема роботи)

**208 «Агроінженерія»**

(шифр і назва спеціальності)

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр  
кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.  
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на  
відповідне джерело \_\_\_\_\_

(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи

**Сукманюк Олена Миколаївна**

(прізвище, ім'я, по батькові)

**К.і.н., доцент**

(науковий ступінь, вчене звання)

## АНОТАЦІЯ

Овсійчук О.Л. Удосконалення потоково-технологічної лінії прибирання та утилізації гною з розробкою конструкції біогазової установки. Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавр за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2023.

В даній кваліфікаційній роботі проведений аналіз перспектив розвитку виробництва у базовому підприємстві, розглянуті відомі конструкції біогазових установок для утилізації гною, визначені параметри і режими роботи лінії видалення та утилізації гною із застосуванням біогазової установки, визначені техніко – економічні показники проекту.

Ключові слова: *свинарник, прибирання гною, утилізація гною, установка біогазова, реактор.*

## ABSTRACT

Ovsiychuk O.L. Improvement of the flow-technological line of manure cleaning and disposal with the development of the design of the biogas plant. Qualification work for obtaining a bachelor's degree in specialty 208 - Agroengineering. - Polissia National University, Zhytomyr, 2022.

In this qualification work, an analysis of the prospects for the development of production at the base enterprise was carried out, the known designs of biogas plants for manure utilization were considered, the parameters and modes of operation of the manure removal and utilization line with the use of a biogas plant were determined, and the technical and economic indicators of the project were determined.

Key words: pig house, manure cleaning, manure utilization, biogas installation, reactor.

## ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. ОБҐРУНТУВАННЯ СКЛАДУ ПОТОКОВО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЛІНІЇ ВИДАЛЕННЯ ТА УТИЛІЗАЦІЇ ГНОЮ	6
1.1. ПТЛ видалення та утилізації гною на фермі та аналіз роботи біогазових установок	6
1.2. Обґрунтування технологічної схеми свинарника	14
1.3. Розрахунок режимів роботи скреперної установки ТС-1	14
1.4. Розрахунок повітрообміну	15
1.5. Висновки по розділу	17
РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗРАХУНОК БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ	18
2.1. Розрахунок добового обсягу робіт	18
2.2. Розрахунок конструктивних параметрів ємкості біореактора	19
2.3 Тепловий розрахунок біореактора	21
2.4 Розрахунок вибору гноєсховища	24
2.5 Обґрунтування технологічних параметрів мішалки	25
2.6 Розрахунок вала мішалки	26
РОЗДІЛ 3. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ РОБОТИ	30
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ	35
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	36
ДОДАТОК	38

## ВСТУП

Використання викопного палива та вплив парникових газів на довкілля ініціювали дослідження у виробництві альтернативних видів палива із біоресурсів. Кількість викидів парникових газів у атмосферу зростає, причому основним компонентом є вуглекислий газ.

Крім того, світовий попит на енергію стрімко зростає. Приблизно 88% виробленої енергії в даний час виробляється з викопного палива.

З метою зниження витрати природного палива, останнє десятиліття стрімко розвивається альтернативна енергетика. Застосування конкретного виду альтернативного палива залежить від кліматичних та технологічних факторів. Газифікація тваринницьких підприємств пов'язана із суттєвими фінансовими витратами, пов'язаними з будівництвом газопроводів та додатковими газорегуляторними пунктами. Так само тваринництво є одним із основних джерел викидів парникових газів в атмосферу. Метан та окис азоту утворюється в результаті розкладання біомаси на тваринницьких та птахівницьких фермах при її зберіганні або переробці в системах, сприяють виникненню анаеробних умов.

У цьому контексті біогаз, одержуваний в результаті розкладання відходів, може відігравати важливу роль в енергетичному майбутньому під час газифікації тваринницьких ферм.

Актуальність теми. З кожним роком зростає інтерес до альтернативних видів палива. Це пов'язано з низкою об'єктивних причин: дедалі більша нестача традиційного органічного палива, екологічні аспекти використання природних джерел енергії, а також вимоги чинних програм енергозбереження. Для тваринницьких підприємств застосування біотехнологій шляхом анаеробної переробки відходів доцільно.

Раціональним шляхом утилізації відходів тваринницьких ферм є анаеробне зброджування, при якому забезпечується знешкодження біомаси та освіта біогазу. Біогазом можна частково замінити природний газ, який буде витрачатися на потреби фермерського господарства, а органічне добриво можна використовувати у сільськогосподарській галузі.

*Об'єктом розробки є технологічні процеси видалення та утилізації гною на свинофермі та процес роботи біогазової установки.*

*Предмет розробки: закономірності функціонування біогазової установки.*

*Метою даного дипломного проекту є розробка конкретних рекомендацій по впровадженню на базовому тваринницькому об'єкті удосконаленої технології видалення та утилізації гною з використанням біогазової установки.*

*В результаті виконання кваліфікаційної роботи та проведених розрахунків встановлено, що розрахунковий добовий вихід гною становитиме близько 6,5 т . Для дотримання повного циклу бродіння впродовж 12 діб об'єм реактора має становити 25 м<sup>3</sup> при кількості реакторів 3 шт. Завдяки застосуванню біогазової установки можливо впродовж року одержати товарного біогазу на рівні 30 тис. м<sup>3</sup>.*

*Публікації.* За результатами досліджень опубліковано тези у Збірнику доповідей учасників науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики. та збірнику матеріалів науково-практичної конференції факультету інженерії та енергетики «Студентські читання – 2023».

*Обсяг та структура роботи.* Робота складається із вступу, двох розділів, висновків, списку використаних джерел. Робота викладена на 38 сторінках машинописного тексту, містить 8 рисунків та 4 таблиці, списку використаних джерел з 22 найменувань.

## РОЗДІЛ 1. ОБҐРУНТУВАННЯ СКЛАДУ ПОТОКОВО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЛІНІЇ ВИДАЛЕННЯ ТА УТИЛІЗАЦІЇ ГНОЮ

### 1.1. ПТЛ видалення та утилізації гною на фермі та аналіз роботи біогазових установок.

Зоотехнічними вимогами чітко обумовлено, що залишки гною після прибирання тваринницьких приміщень не повинні перевищувати 150...200 г/м<sup>2</sup>. Для видалення гною з тваринницьких приміщень застосовуються, як правило скребкові транспортери кругової дії або скреперні установки із зворотно-поступальним рухом скреперної каретки. Транспортери першої групи (ТСН-3,0Б, ТСН-160А, КСН-ф-100) влаштовуються у вузьких відкритих каналах завширшки 320 мм і тому влаштування такої системи не потребує значних капітальних витрат. До недоліків цих транспортерів відносяться надмірна забрудненість приміщення, великі витрати ручної праці на доочищення кліток (стійл), підвищена енергомісткість процесу роботи, низька надійність і довговічність, потреба у застосуванні додаткового мобільного агрегату для перевезення гною до гноєсховища.

Скреперні установки типу ТС-1 монтуються у каналах поперечним перерізом 800 x 800 мм, закритих зверху решітками. Зрозуміло, їх влаштування потребує значно більших капітальних витрат, у т.ч. витрат на посилену вентиляцію і опалення приміщення. Але зате істотно скорочуються витрати праці на очищення приміщення та витрати електроенергії (потужність приводу становить 3 кВт проти 5,5 кВт у скребкових транспортерів). До того ж при використанні таких установок можна застосувати однотипний транспортер ТС-1 (поперечний) для транспортувати гною до гноєсховища від декількох приміщень, виключивши таким чином витрати пально-мастильних матеріалів на виконання цієї операції мобільним агрегатом [1, 2].

Гній складається в основному з органічних речовин. Для знезараження рідкого гною, одержання біогазу і виробництва високоякісних органічних добрив його піддають анаеробному збродженню.

Органічні речовини становлять 60—80 % загальної кількості сухої речовини рідкого гною [3]. Основними його компонентами є вуглеводи, жироподібні та білкові речовини. Без доступу повітря під впливом бактерій вони гниють, при цьому відбуваються біохімічні та біологічні процеси, внаслідок чого утворюється багатий метаном газ.

Розпад органічної речовини в анаеробних умовах відбувається за два етапи. На першому утворюються жирні кислоти, водень, вуглекислий газ, спирти, амінокислоти, аміак, сірководень, на другому розпадаються виділені кислоти з утворенням вуглекислоти, метану і в невеликій кількості водню та окису вуглецю. Бродіння здійснюється за допомогою метанових бактерій. Виділений газ складається із 65...70 % метану і 30...35 вуглекислого газу. Теплотвірна здатність газу 20 000 – 22 000 кДж/м<sup>3</sup> [4-5].

Процес бродіння відбувається повільно. Його швидкість залежить від температури в реакторі. Так, при температурі осаду 25 –27 °С процес продовжується 25 – 30 днів, при 10 °С – 4 місяці [6].

Існує два види бродіння: мезофільне (при температурі 30...35 °С) та термофільне (50...55 °С) [7]. Термофільне бродіння відзначається більшою інтенсивністю і відбувається приблизно в 2 рази швидше за мезофільне.

Важливим фактором, який зумовлює весь хід розпаду органічної речовини, є відношення об'єму вихідного осаду до об'єму дозрілого і бродильного, який знаходиться в новій камері, або так звана норма завантаження. Добову норму завантаження виражена у процентах, величина її обернено пропорційна строку бродіння. Так, при тривалості бродіння 120 днів добова норма завантаження становить  $100:120=0,8\%$ , 25 – 4 %, а при 10 днях – 10 % [8].

Нині у світі існує велика кількість експериментальних і промислових установок для метанового збродження рідкого гною, посліду і різних відходів рослинництва. Більшість діючих установок знаходиться в Китаї (до 5 млн.) та Індії (до 70 тис.) [9]. Їхні конструкції аналогічні: інтегрований газоприймальник, підземне розміщення реактора, відсутність підігрівання і перемішування.

Виробництвом метанових установок займаються також в Західній Європі та США. Так, у ФРН діє 9 установок. Найпопулярніша з них система Дармшодт «Reusch», яка включає в себе горизонтальний бетонний резервуар об'ємом 20 м<sup>3</sup>. Процес відбувається в мезофільному режимі, перемішування здійснюється механічною мішалкою, середній вихід біогазу 42 м<sup>3</sup>/добу, гній надходить від 18 корів, процес потребує 7,5 кВт енергії [10]. У Чехії працює установка, яка переробляє гній від 35 тис. свиней. Основним призначенням її є збереження чистоти навколишнього середовища. Виробництво газу в цьому випадку є другорядним завданням [5].

У експериментальному тваринницькому господарстві префектури Хіросіма працює наземна метанова установка (рис. 1.1), яка складається з двох метантенків безперервної дії.

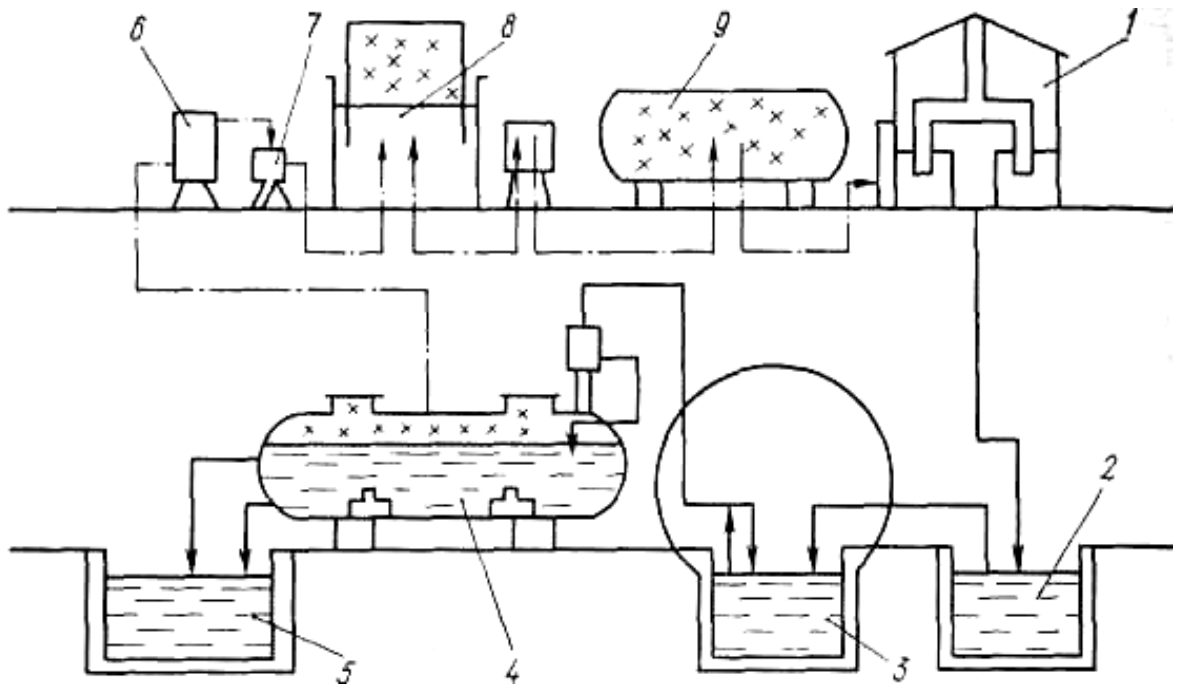


Рисунок 1.1. – Установка для виробництва і використання метану в експериментальному тваринницькому господарстві префектури Хіросімі:

1 – тваринницьке приміщення; 2 – колектор; 3 – місткість для підготовки гною до бродіння; 4 – горизонтальний метантенк; 5 – місткість для зброженої маси; 6 – газовий лічильник; 7 – компресор; 8 – газгольдер; 9 – резервуар для збирання газу

Гній із свиноферм надходить у колектор, звідки насосами перекачується в місткість, де перемішується і безперервно подається у метантенк. Одержаний газ спрямовується по трубопроводах через газовий лічильник в газгольдер, після чого компресором закачується в газове сховище місткістю  $30 \text{ м}^3$  і використовується для підігрівання зброженої маси, а також для опалення в холодний період року. У зв'язку з тим, що одна сім'я за місяць використовує  $70 \text{ м}^3$  газу, ця установка може забезпечити газом 2 тис. сімей [6].

Перший промисловий зразок вітчизняної біогазової установки КОБОС-1 створений конструкторсько-технологічним інститутом сільськогосподарського машинобудування.

Установка встановлена на фермі на 800 голів і призначена для виробництва високоякісних органічних добрив та біогазу. КОБОС-1 (рис. 1.2) складається з двох реакторів, підігрівника, фекального і гвинтового насосів, газгольдера, компресора, водогрійного котла. Реактор з вакуумним перемішуванням включає в себе горизонтальний резервуар з поздовжніми перетинками, газовий ковпак, завантажувальну трубу, вивантажувальний сифон, пристрій для аварійного зливання маси. До складу реактора з механічним перемішуванням входить горизонтальний резервуар, газовий ковпак, мішалка, завантажувальна труба, пристрій для аварійного зливання. Підігрівник – це циліндричний резервуар з теплообмінником, виконаним за



принципом труба в трубі, де гній нагрівається до необхідної температури. У силовому блоці-контейнері змонтовані насосна установка і установка для очистки біогазу, в насосній – два фекальних насоси, чотири шлангових затвори та система трубопроводів. У силовому блоці-контейнері розміщено обладнання, яке нагріває воду для підтримання температурного режиму КОБОС-1. Установка працює так. Гній з колектора насосом подається в подрібнювач, в якому переробляються довговолокнисті та інші частини, звідти — в підігрівник для нагрівання до температури бродіння. Витриманий гній гвинтовим насосом-дозатором через шланговий затвор подається в реактори, де відбувається анаеробне бродіння, внаслідок чого виділяється біогаз. Одержаний в результаті бродіння газ із реактора компресорами забирається в блок очищення.

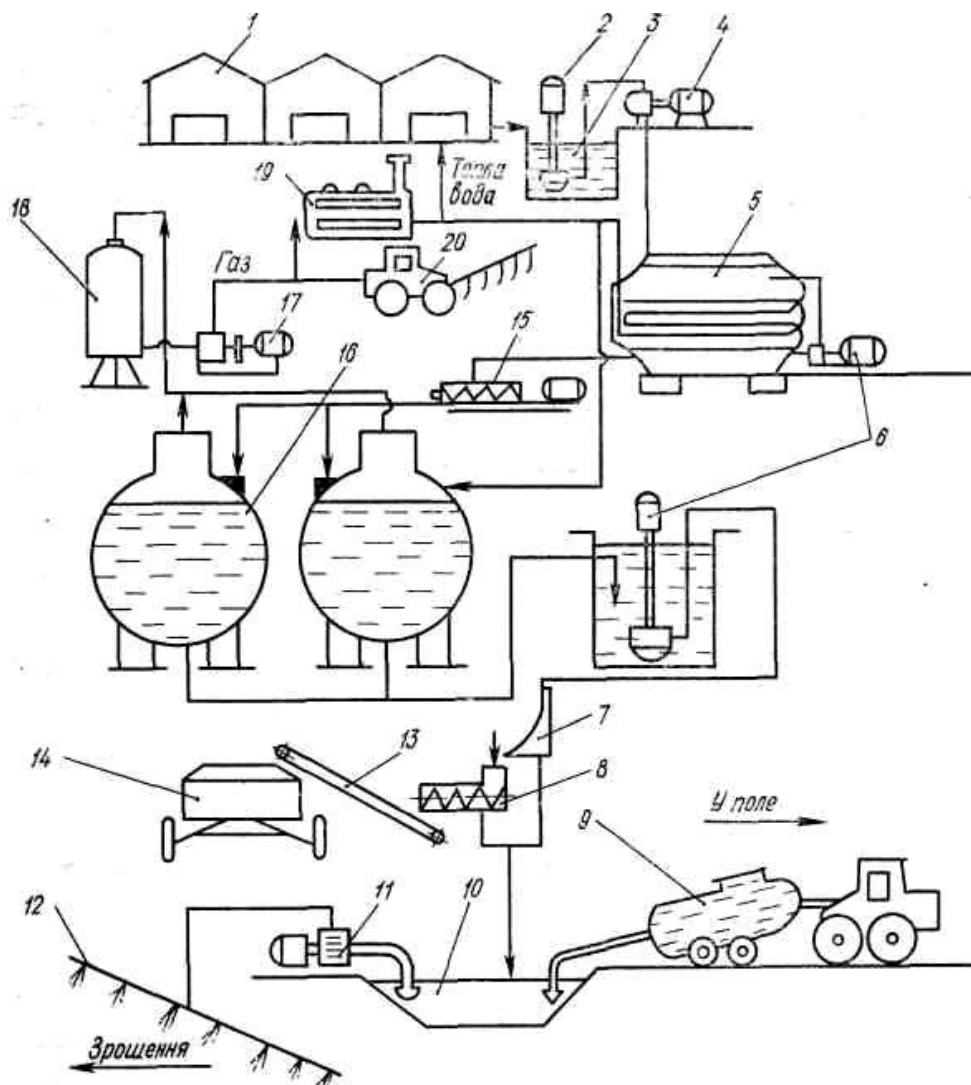


Рисунок 1.2. – Технологічна схема біогазової установки КОБОС-1:

1 – ферма; 2, 6 – насоси для рідкого гною; 3 – колектор; 4 – подрібнювач; 5 – нагрівник-витримувач; 7 – дугове сито; 8 – прес-фільтр; 9 – цистерна-розкидач; 10 – гноєсховище; 11 – насос; 12 – зрошувальна система; 13 – транспортер; 14 – тракторний причіп; 15 – гвинтовий насос; 16 – реактор; 17 – компресор; 18 – газгольдер; 19 – котел; 20 – трактор, який працює на біогазі

Очищений біогаз через зворотний клапан і гідрозатвор подається для використання на комплексі КОБОС-1. Рештки газу спрямовуються для зберігання.

Зброджену масу гною використовують як органічне добриво. Під час дозованого завантажування вона самопливом надходить у колектор для подальшого використання. Із нагромаджувача масу гною подають насосом на дугове сито для розділення на фракції: тверду й рідку. Густу масу гною зневоднюють прес-фільтром до вологості 72–75 % і транспортують у бурти для біотермічного знезаражування. Рідка фракція гною надходить у гноєсховище і цистернами-розкидачами РЖТ-8 або поливальними установками типу ДКЕ-80 вноситься під сільськогосподарські культури.

Технологічний процес, який відбувається в установці КОБОС-1, має дві стадії. Перша (гідроліз і кислотоутворення) здійснюється в підігрівнику (25 м<sup>3</sup>), друга – в реакторі (125 м<sup>3</sup>). Як засівний матеріал використовують зброджений мул метантенку комунальних очисних споруд. Процес бродіння здійснюється при температурі +40 °С, змішування маси – механічне, лопатевою мішалкою.

Для стимулювання газоутворення, підвищення ефективності змішування і запобігання кіркоутворенню в газовій камері реактора підтримують невисоке розрідження за рахунок постійного відведення біогазу.

Під час запуску установки добові норми завантажування реактора становлять 6–8 м<sup>3</sup> гною. Після заміни повного об'єму реактора норму збільшують до 10 % автоматичною подачею порцій 24 рази на добу.

У держгоспі «Україна» Золотоніського району Черкаської області на початку 1980-х років була збудована установка для анаеробного збродження рідкого гною на свинокомплексі потужністю 24 тис. голів (рис. 1.3). За проектом, добовий вихід гною на комплексі 280 – 350 м<sup>3</sup> [10]. Рідкий гній підлягає механічній та біологічній обробці. При механічній обробці виділяють тверду фракцію після дугового сита і осад після першого відстійника, при біологічній – активний мул. Загальна кількість осаду становить 100–150 м<sup>3</sup>/добу. Установка переробляє 20 м<sup>3</sup>/добу осаду після біологічної обробки. При цьому висхідний осадок подається у відкриту місткість (30 м<sup>3</sup>) і для змішування та нагрівання в спеціальному теплообміннику (типу труба в трубі). Рециркуляція маси здійснюється при допомозі фекального насоса за схемою: місткість для змішування – теплообмінник – місткість для змішування.

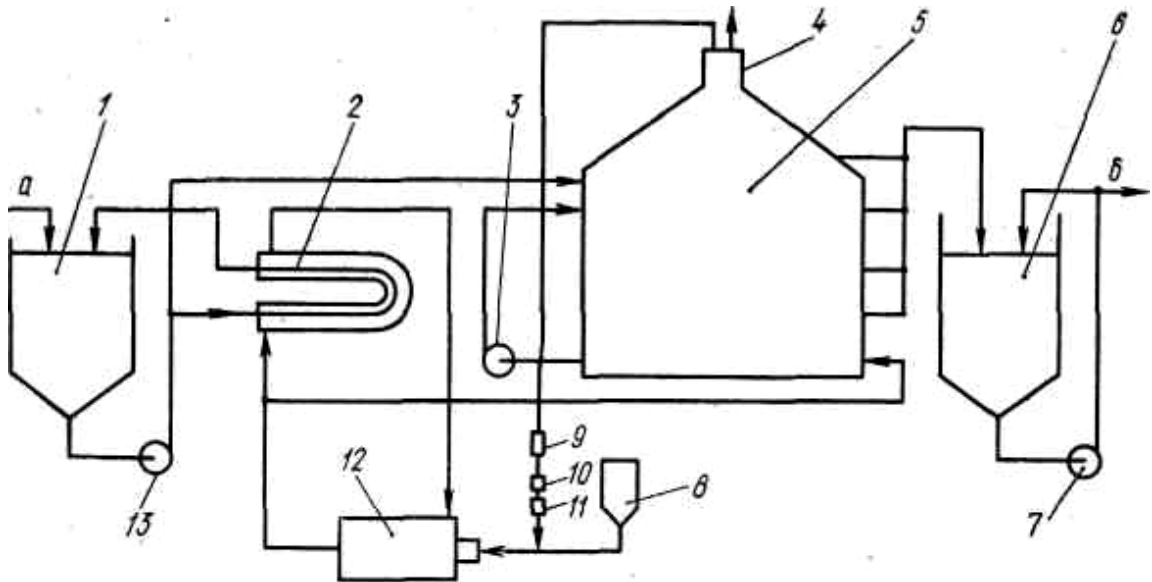


Рисунок 1.3. – Схема установки по зброджуванню осаду рідкого свинячого гною: а – рідкий гній; б – зброджений гній; 1 – резервуар для змішування і нагрівання рідкого гною; 2 – теплообмінник; 3, 7, 13 – фекальні насоси; 4 – збірник біогазу; 5 – метантенк; 6 – відстійник збродженого гною; 8 – бак рідкого палива; 9 – газований лічильник; 10 – компресор; 11 – газгольдер; 12 – водогрійний котел

Нагрітий до температури 35 °С осад тим же насосом подається в метантенк об'ємом 200 м<sup>3</sup>, де теж підігрівається теплообмінником до температури 30–35 °С. Джерелом тепла для підігрівання осаду є водогрійний котел (КВ-300М), який працює на рідкому паливі. Осад в реакторі постійно перемішується за рахунок перекачування маси насосом із нижніх шарів у верхні. Зброджений продукт надходить у спеціальний відкритий відстійник, де підлягає струминній аерації, за рахунок якої відбувається відокремлення біогазу і переведення осаду в аеробний стан. Із відстійника продукт вивантажують тим же насосом в причіп і вивозять на поля. Утворений у реакторі біогаз під власним тиском спрямовується через водомуловідокремлювач, фільтр та лічильник газу у водогрійний котел. Збродженню підлягає осад первинного відстійника, надлишковий активний мул і його суміш у співвідношенні 2:1, а також фільтрат дугового сита. Вологість надлишкового мулу становить 87...96 %, а рідкої фракції 99,0...99,5 %. Вміст золи – 20...30 %.

Пуск установки здійснюється на осаді первинного відстійника, попередньо витриманого в звичайних умовах протягом трьох місяців у резервуарі для змішування. Такий осад є закваскою для вихідного продукту, який подається в реактор. У процесі роботи установки добова норма завантажування змінюється від 5 до 20 м<sup>3</sup>, температура вихідного продукту, який подається в резервуар для змішування в межах від +10° (рідка фракція після дугового сита) до +20 °С (мул). Нагрівання здійснюється протягом 4...5 год.

При цьому тепловтрати незначні і досягають 2...3 °С.

Аналіз роботи установки показав, що попереднє нагрівання біомаси сприяє її інтенсивному розпаду на тверду й рідку фракції. Середні значення вмісту вуглеводів у біомасі свідчать про те, що процес бродіння, як і попереднього нагрівання, характеризується зниженням вуглеводів від 1,74 г/кг у вихідній біомасі до 1,2 г/кг у нагрітій та 1,13 г/кг у збродженій. Гідроліз, який відбувається в результаті нагрівання, сприяє збільшенню летких жирних кислот на 20 – 30 %. Вихід біогазу змінюється в межах від 60 м<sup>3</sup>/добу при збродженні фільтрату дугового сита до 110 м<sup>3</sup>/добу при збродженні осаду первинних відстійників. Він містить метан (48 – 67 %), вуглекислий газ (33 – 40 %) і азот (0,2-13 %) [11].

У збродженій біомасі вміст аміачного азоту підвищується на 34 % порівняно з вихідною біомасою. Співвідношення вуглецю і азоту змінюється від 12 у висхідній біомасі до 4,2 у збродженій. При цьому забезпечується 100%-не знищення схожості насіння бур'янів. У процесі випробування біогаз використовувався разом з рідким паливом у котлі КВ-300. Економія основного палива становила 20...30 %.

Установка Біогаз-301С (рис. 1.4) науково-виробничого об'єднання ім. Фрунзе (м. Суми) призначена для знезаражування та переробки рідкого гною із свиноферм на 3000 голів. Вона є складовою частиною ферми і включає в себе комплекс технологічного обладнання для переробки рідкого гною методом анаеробної ферментації з одержанням органічного добрива та біогазу. Технологічний процес здійснюється без доступу кисню повітря в двостадійному режимі роботи при температурі +40 °С безпримусовим відбиранням газу с циклом бродіння 8 діб.

Ферментер (метантенк) – це циліндричний резервуар об'ємом 310 м<sup>3</sup>, висотою 18 і діаметром 6 м. Усередині ферментера установлені дві механічні мішалки шнекового типу. Крім того, метантенк обладнаний насосом ФГ 144/46 для гідравлічного перемішування біомаси. У нижній частині метантенку розміщено шнекові вивантажувачі осаду і сторонніх предметів, а також вмонтовані три пакети для підігрівання біомаси за допомогою трубчастого секційного теплообмінника. У верхній частині метантенку установлений пристрій для піногасіння, а також вивідні газотрубопроводи, з'єднані з газгольдером. Підігрівник складається з циліндричного резервуара, в який вмонтовано теплообмінник для підігрівання гною до температури +40°С. Після підігрівання біомаса спрямовується в метантенк. У цеху переробки розміщено фекальні насоси типу ФГ, центрифуга ОГШ-502 і система трубопроводів, а також вивантажувальний транспортер.

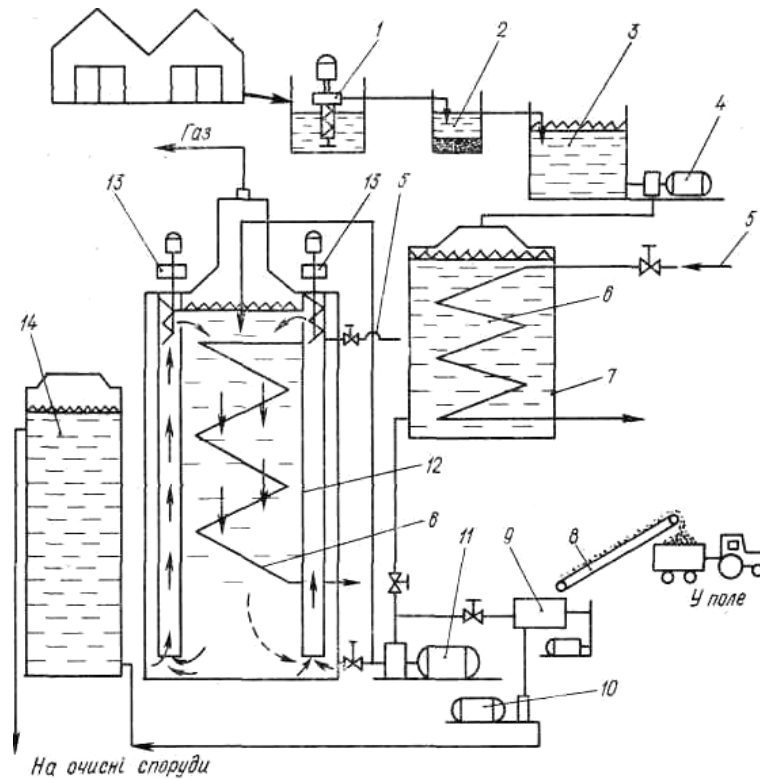


Рисунок 1.4 - Технологічна схема установки для метанового зародження гною «Біогаз-301С»: 1 – шнековий насос; 2 – пристрій для відбирання механічних включень; 3 – збірник; 4, 10 – насоси; 5 – теплоцентральною; 6 – теплообмінник; 7 – підігрівник-витримувач; 8 – транспортер; 9 – центрифуга; 11 – насос для гною; 12 – метантенк; 13 – мішалка; 14 – відстійник.

Технологічний процес роботи установки такий. Із приміщень свиноферми скреперною установкою рідкий гній вологістю 92—94 % подається в колектор, звідки насосом НЖН-200 в підігрівник для нагрівання до температури 40 °С. Насосом гній спрямовується в метантенк і переливається у відстійник. Із відстійника відферментована біомаса надходить у центрифугу для розподілу на фракції, які використовуються в рослинництві як добриво.

Розглянуті конструкції біогазових установок мають спільний недолік – вони розраховані на велике поголів'я, і тому мають настільки великий об'єм споруд, що їх зведення в умовах типових господарств є маловірогідним через значну вартість будівництва та відповідного обладнання. Враховуючи це, у даному випадку слід розробити установку власної конструкції з мінімально можливим обсягом капітальних витрат. На нашу думку, цим вимогам найбільше відповідає принципова схема установки блочного типу, у якій камери прогріву, бродіння і газгольдер зблоковані в єдину металеву конструкцію, що встановлюється на поверхні землі.

Визначившись із складом потоково-технологічної лінії, надалі слід провести ряд технологічних розрахунків для вибору відповідного обладнання. Насамперед проведемо розрахунок режимів роботи гноєприбирального транспортера ТС-1.

## 1.2. Обґрунтування технологічної схеми свинарника

Відгодівельне поголів'я утримується у свинарнику, побудованому за типовим проектом 802-5-24. Приміщення даного свинарника розраховано для утримання до 500 свиней у групових клітках з роздаванням кормів рейковими роздавачами КС-1,5.

Приміщення свинарника одноповерхове, в плані прямокутної форми з габаритними розмірами 18×54 м. Висота в середині приміщення біля зовнішніх стін від підлоги до низу виступаючих конструкцій – 2,55 м. Споруда каркасна, несучими конструкціями служать збірні залізобетонні трьохшарнірні рами прольотом 18 м, зв'язані між собою плитами покриття. Поздовжній крок рам – 6 м. Теплоізоляція покриття – м'які мінераловатні плити, покрівля – хвилясті азбестоцементні листи по дерев'яній обрешітці.

## 1.3. Розрахунок режимів роботи скреперної установки ТС-1

Тривалість одного циклу роботи транспортера розраховується як:

$$t_{\text{ц}} = \frac{2L}{V_{\text{ср}}} + t_p, \quad (1.1)$$

де  $L$  – хід скрепера, м; з плану приміщення з урахуванням зони перекриття  
 $L = 17,4$  м;

$V_{\text{ср}}$  – середня швидкість руху скрепера; з технічної характеристики транспортера  $V_{\text{ср}}=0,25$  м/с [1, 7];

$t_p$  – час на реверсування установки,  $t_p = 3$  с;

$$t_{\text{ц}} = \frac{2 \cdot 17,4}{0,25} + 3 = 142 \text{ с.}$$

Тривалість одного включення

$$t_{\text{в}} = \alpha \cdot t_{\text{ц}}, \quad (1.2)$$

де  $\alpha$  – кількість послідовно встановлених скреперів у ряду;  $\alpha = 2$ .

$$t_{\text{в}} = 2 \cdot 142 = 284 \text{ с} = 4,7 \text{ хв.} = 0,078 \text{ год.}$$

Визначаємо подачу скрепера за формулою:

$$Q = \frac{V_{\text{с}} \cdot \rho \cdot \varphi}{t_{\text{ц}}}, \quad (1.3)$$

де  $V_{\text{с}}$  – розрахункова місткість скрепера; м<sup>3</sup>;  $V_{\text{с}} = 0,2$  м<sup>3</sup>;

$\varphi$  – коефіцієнт заповнення скрепера ( $\varphi = 0,9 - 1,2$ ),

$\rho$  – щільність гною ( $\rho = 950 - 1060$  кг/м<sup>3</sup>).

$$Q = \frac{0,2 \cdot 1030 \cdot 0,9}{142} = 1,3 \text{ кг/с.}$$

Оскільки одночасно до колектора гній подається двома скреперами, то подача всієї установки

$$Q_{уст} = 2 \cdot Q = 2 \cdot 1,3 = 2,6 \text{ кг/с} = 9,4 \text{ т/год.} \quad (1.4)$$

Ця продуктивність дещо менша від номінальної за технічною документацією (10 т/год.); отже перевіряти транспортер по потужності приводу немає потреби.

Визначаємо тривалість роботи транспортера за добу:

$$T_{доб} = \frac{G_d}{Q_{уст}}, \quad (1.5)$$

Де  $G_d$  – визначений у попередньому розділі добовий вихід гною, т.

$$T_{доб} = 7,026 / 9,4 = 0,75 \text{ год.}$$

Тоді кількість включень транспортера протягом доби:

$$Z = \frac{T_{доб}}{t_e} = \frac{0,75}{0,078} \approx 10 \text{ включень.} \quad (1.6)$$

#### 1.4. Розрахунок повітрообміну

Влаштування у приміщенні установок ТС-1 істотним чином впливає на мікроклімат, оскільки через значні розміри каналів (у перерізі 0,8x0,8 м) у свинарнику може істотним чином збільшитись загазованість повітря і знизитись його температура внаслідок протягів. Тому виникає потреба провести розрахунок системи вентиляції та опалення у реконструйованому свинарнику.

Потрібний мікроклімат забезпечується певним обміном повітря в приміщенні, згідно з яким розраховують вентиляцію.

Повітрообмін, що необхідний в приміщенні в різні пори року визначається за формулою:

$$L_v = M \cdot l, \quad (1.7)$$

де  $M$  – сумарна маса тварин, що знаходиться в приміщенні, кг;

$l$  – норма повітрообміну на 1 кг маси тварин для різної пори року:

літній період  $l_l = 0,65 \text{ м}^3/\text{год} \cdot \text{кг}$ ; зимовий період  $l_z = 0,2 \text{ м}^3/\text{год} \cdot \text{кг}$ ;

перехідний період  $l_n = 0,45 \text{ м}^3/\text{год} \cdot \text{кг}$  [1];

$$M = n \cdot g = 500 \cdot 110 = 55000 \text{ кг,} \quad (1.8)$$

де  $n$  – кількість тварин;

$g$  – маса тварин, кг.

$$L_{v,l} = M \cdot l_l = 55000 \cdot 0,65 = 35750 \text{ м}^3/\text{год};$$

$$L_{v,z} = M \cdot l_z = 55000 \cdot 0,2 = 11000 \text{ м}^3/\text{год};$$

$$L_{\text{вп}} = M \cdot l_{\text{п}} = 55000 \cdot 0,45 = 24750 \text{ м}^3/\text{год}.$$

По більшому із трьох знайдених значень визначається кратність повітрообміну:

$$K = \frac{L_{\text{вп}}}{V}, \quad (1.9)$$

де  $V$  – об'єм приміщення,  $\text{м}^3$ .

$$V = A \cdot B \cdot H = 18 \cdot 48 \cdot 2,5 = 2160 \text{ м}^3. \quad (1.10)$$

$$K = \frac{35750}{2160} = 16,55.$$

Кратність повітрообміну більше 4, тому приймається примусова вентиляція.

За визначеною величиною повітрообміну вибираємо вентиляційну установку “Клімат-45М-02” з продуктивністю  $Q = 36$  тис.  $\text{м}^3/\text{год}$  [8]. Кількість вентиляторів – 6 шт. Тип вентилятора ВО-Ф-56А, продуктивність якого  $Q_{\text{в}} = 6000 \text{ м}^3/\text{год}$ .

Для опалення в свинарнику застосовується теплогенератор.

Визначення потреби у загальному опаленні та вибір опалювальної установки проводиться на основі рівняння теплового балансу приміщення [1, 6].

$$Q_{\text{оп}} = Q_{\text{ог}} + Q_{\text{в}} - Q_{\text{т}}, \quad (1.11)$$

де  $Q_{\text{ог}}$  – витрати тепла через зовнішню огорожу приміщення;

$Q_{\text{в}}$  – кількість тепла, що виноситься вентиляцією з приміщення;

$Q_{\text{т}}$  – теплота, яку виділяють тварини.

Втрати тепла через зовнішні огорожі приміщення:

$$Q_{\text{ог}} = V \cdot q \cdot (\Theta_{\text{в}} - \Theta_{\text{з}}), \quad (1.12)$$

де  $V$  – об'єм вентилязованого приміщення,  $\text{м}^3$ ;

$q$  – теплова характеристика приміщення,  $q = 2,5 \text{ кДж/м}^3 \cdot \text{град}$  [11];

$\Theta_{\text{в}}$  – оптимальна розрахункова температура в приміщенні,  $\Theta_{\text{в}} = 18^{\circ}\text{C}$  [11-16];

$\Theta_{\text{з}}$  – розрахункова зовнішня температура повітря,  $\Theta_{\text{з}} = -22^{\circ}\text{C}$  [11-16].

$$Q_{\text{ог}} = 2160 \cdot 2,5 \cdot (18 - (-22)) = 216000 \text{ кДж/год}.$$

Кількість тепла, що виноситься вентиляцією з приміщення:

$$Q_{\text{в}} = L_{\text{вз}} \cdot l \cdot \gamma \cdot (\Theta_{\text{в}} - \Theta_{\text{з}}), \quad (1.13)$$

де  $L_{\text{вз}}$  – повітрообмін, що створюється вентиляцією взимку,  $L_{\text{вз}} = 11000 \text{ м}^3/\text{год}$ ;

$l$  – теплоємність повітря,  $l = 1 \text{ кДж/кг} \cdot \text{град}$  для температури від  $-30^{\circ}\text{C}$  до  $+50^{\circ}\text{C}$  [1];

$\gamma$  – густина повітря,  $\gamma = 1,2 \text{ кг/м}^3$  [11-16].

$$Q_{\text{в}} = 11000 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot (18 - (-22)) = 528000 \text{ кДж/год}.$$



Кількість тепла, що виділяється в приміщенні тваринами

$$Q_T = g_M \cdot n, \quad (1.14)$$

де  $g_M$  – вільна теплота, яка виділяється однією твариною за годину,

$$g_M = 909 \text{ кДж/год} [15];$$

$n$  – кількість тварин у приміщенні.

$$Q_T = 909 \cdot 500 = 454500 \text{ кДж/год.}$$

Кількість тепла, необхідного для опалення приміщення:

$$Q_{оп} = 216000 + 528000 - 454500 = 289500 \text{ кДж/год.}$$

Розрахункова потужність для загального опалення

$$P_p = \frac{Q_{оп}}{3600 \cdot \eta_{оп}}, \quad (1.15)$$

де  $\eta_{оп}$  – ККД опалювальної установки,  $\eta_{оп} = 1$ .

$$P_p = \frac{289500}{3600 \cdot 1} = 80,4 \text{ кВт.}$$

Приймаємо теплогенератор ГТГ-1А (модифікація ТГ-1А на газоподібному пальному), теплова потужність якого  $P = 116$  кВт [11, 16, 17].

Наступним етапом є обґрунтування основних конструкційно-технологічних параметрів і режимів роботи біогазової установки.

## 1.5. Висновки по розділу

В даному розділі обґрунтовано склад потоково-технологічної лінії видалення та утилізації гною. Показано процес бродіння органічної речовини, а також наведено деякі промислові установки для метанового збродження рідкого гною, посліду і різних відходів рослинництва. Також нами було обґрунтовано технологічну схему свинарника. Проведено розрахунок режимів роботи скреперної установки ТС-1. Наведено розрахунок системи вентиляції та опалення у реконструйованому свинарнику. В результаті чого нами було вибрано вентиляційну установку “Клімат-45М-02” та прийнято теплогенератор ГТГ-1А.

## РОЗДІЛ 2.

### ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗРАХУНОК БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ

#### 2.1. Розрахунок добового обсягу робіт

Для визначення добового обсягу робіт вважаємо, що на фермі утримується таке поголів'я свиней, яке відповідає її проектній потужності.

Добовий вихід гною визначаємо за формулою:

$$G_d' = \sum m_i * (q_i + q_{pi}), \quad (2.1)$$

Де  $m_i$  – поголів'я  $i$ -ої виробничої групи тварин, гол;

$q_i$  – добова норма виділення екскрементів однією твариною, кг;

$q_{pi}$  – добова норма внесення підстилки на 1 гол  $i$ -ої вікової групи, кг.

Користуючись довідковими даними про норми виходу гною [1], проводимо означені розрахунки і результати заносимо до таблиці 2.1

Таблиця 2.1. Розрахунок добового обсягу робіт

Виробнича група тварин	Поголів'я, гол.	Добова норма, кг/гол		Добовий вихід гною, кг
		екскрементів	підстилки	
Поросята 2-3 міс.	100	6	2	800
Поросята 4-5 міс.	100	8	2	1000
Молодняк 6-7 міс.	100	10	2	1200
Молодняк 8-9 міс.	100	12	2	1400
Молодняк 9-10 міс.	100	15	2	1700
Разом	500	-	-	6200

Рідкий свинячий гній має об'ємну масу  $\gamma_r = 1030 \dots 1060$  кг/м<sup>3</sup>; тоді об'єм стоків за добу становитиме:

$$V = \frac{G_d}{\gamma_r} = \frac{6200}{1060} = 5,8 \text{ м}^3, \quad (2.2)$$

При мезофільному режимі і вологості гнойової маси до  $W = 93\%$  рекомендована доза добового завантаження  $D = 8\%$  [12].

Тоді тривалість перебування маси у реакторі [12]:

$$t = \frac{1}{D} = \frac{1}{0,08} \approx 12 \text{ діб}. \quad (2.3)$$

Звідси розрахунковий сумарний об'єм реакторів:

$$V_p' = V_{доб} \cdot t = 5,8 \cdot 12 = 69,6 \text{ м}^3. \quad (2.4)$$

Приймаємо три реактори об'ємом по  $V_p = 25 \text{ м}^3$ , кожний з яких заповнюється за 4 дні і після завершення першого циклу бродіння переходять у безперервний режим роботи.

## 2.2. Розрахунок конструктивних параметрів ємкості біореактора

Ємкість біореактора складається з чотирьох неоднотипних блоків (модулів): нижній блок, проміжний блок 2, середній блок 3, верхній блок 4.

В середині нижнього блоку вмонтовано газгольдер.

Для нижнього блоку біореактора приймаємо такі конструктивні параметри:

- висота блоку  $H_H = 1,2 \text{ м}$ ;
- діаметр  $D_H = 4,0 \text{ м}$ ;
- діаметр вивантажувальної горловини  $D_{BH} = 0,7 \text{ м}$ .

Загальний об'єм нижнього блоку визначаємо за формулою:

$$V_H = \frac{\pi \cdot D_H^2}{4} \cdot H_H, \quad (2.4)$$

$$V_H = 15 \text{ м}^3.$$

Робочий об'єм нижнього блоку визначаємо за формулою:

$$V_{PH} = \frac{\pi \cdot D_H}{3} \cdot \left( \frac{D_H^2}{4} + \frac{D_H \cdot D_{BH}}{4} + \frac{D_{BH}^2}{4} \right), \quad (2.5)$$

$$V_{PH} = 6 \text{ м}^3.$$

Об'єм газгольдера визначається за формулою:

$$V_G = V_H - V_{PH}, \quad (2.6)$$

$$V_G = 9 \text{ м}^3.$$

Параметри середнього блоку:

Діаметр  $D_C = 4,0 \text{ м}$ .

Висота середнього блоку відповідно визначається за формулою:

$$H_C = \frac{4 \cdot V_C}{\pi \cdot D_C^2}, \quad (2.7)$$

$$H_C = 0,36 \text{ м}$$

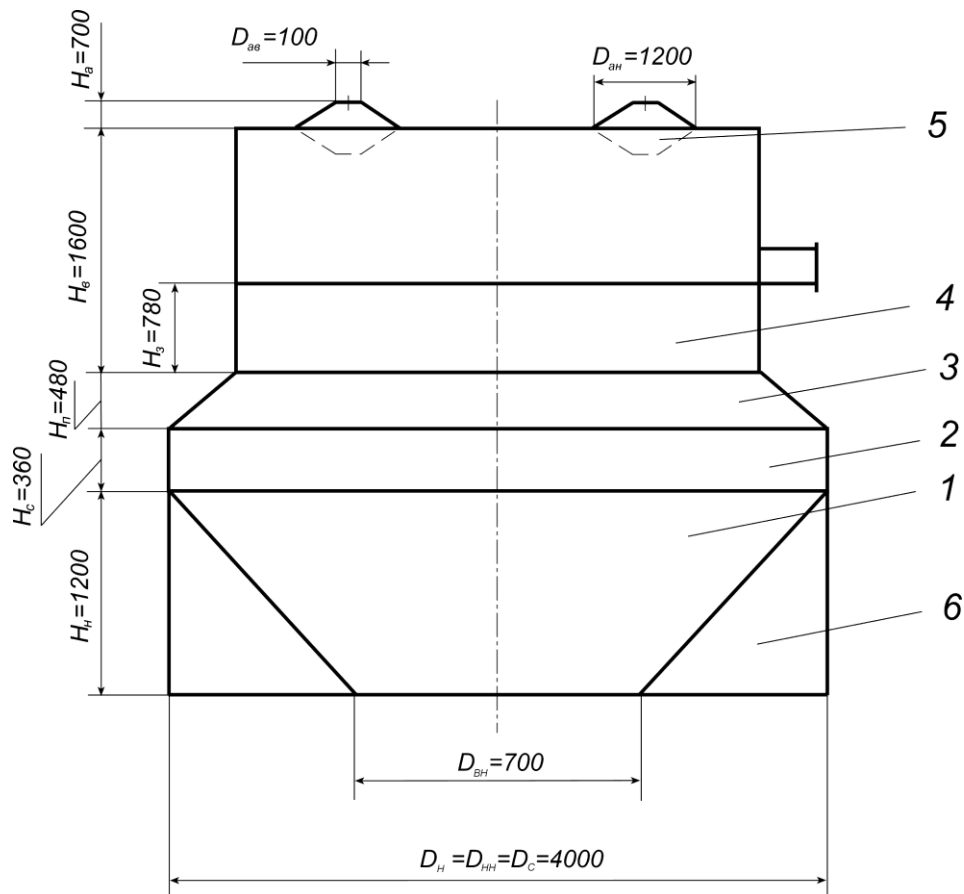


Рисунок 2.1. – Схема ємкості біореактора: 1 – нижній блок; 2 – середній блок; 3 – проміжний блок; 4 – верхній блок; 5 – акумулятор газу; 6 – газгольдер.

Проміжний блок біореактора має такі конструктивні параметри: діаметр верхній  $D_{ПВ} = 3,0\text{ м}$  діаметр нижній  $D_{ПН} = 4,0\text{ м}$ ; висота  $H_{П} = 0,42\text{ м}$ ; об'єм  $V_{П} = 4\text{ м}^3$ .

Верхній блок біореактора має такі конструктивні параметри: діаметр  $D_B = 3,0\text{ м}$ ; висота  $H_B = 1,6\text{ м}$ ; середній об'єм верхнього блоку  $V_B = 11,3\text{ м}^3$ ; об'єм заповнення рідкими відходами  $V_3 = 5,5\text{ м}^3$ ; висота заповнення верхнього блоку  $H_3 = 0,78\text{ м}$ ; об'єм газової камери:

максимальний –  $6,65\text{ м}^3$ ;

мінімальний –  $4,95\text{ м}^3$ .

Параметри акумулятора газу: нижній діаметр  $D_{AH} = 1,2\text{ м}$ ; верхній діаметр  $D_{AB} = 0,1\text{ м}$ ; висота конуса  $H_A = 0,7\text{ м}$ ; об'єм акумулятора  $V_A = 1,71\text{ м}^3$ .

Для метантенку з робочим об'ємом  $20\text{ м}^3$ , об'єм середнього блоку становить відповідно:

$$V_{C1} = 20 - V_{PH} - V_{П} - V_3, \quad (2.8)$$

$$V_{C1} = 4,5\text{ м}^3.$$

Для наглядності всі розрахункові об'єми зведемо у таблицю 2.2.

Таблиця 2.2. Розрахункові об'єми біореактора

Показник	Кількість
Середній об'єм, м <sup>3</sup>	26,80
Мінімальний об'єм, м <sup>3</sup>	25,09
Максимальний об'єм, м <sup>3</sup>	28,51
Об'єм газової камери: максимальний, м <sup>3</sup> мінімальний, м <sup>3</sup>	6,65 4,95
Об'єм газгольдера, м <sup>3</sup>	9,0

### 2.3 Тепловий розрахунок біореактора

Розрахунок теплообмінника проводять, виходячи з умов теплового балансу :

$$Q_{T1} + Q_{T2} = Q_{3H} + Q_{3C}, \quad (2.9)$$

де  $Q_{T1}$  – тепло, яке виділяється теплообмінником, попереднього підігріву, кДж;

$Q_{T2}$  – тепло, яке виділяється теплообмінником, кДж;

$Q_{3H}$  – тепло, яке необхідне для підігріву рідких відходів до температури технологічного процесу, кДж;

$Q_{3C}$  – тепло, яке виділяється в атмосферу через соломку, кДж.

$$Q_{T1} = \pi \cdot (d_1 + d_2) \cdot l_1 \cdot \alpha \cdot (t_2 - t_1) \cdot \tau, \quad (2.10)$$

де  $d_1$  – внутрішній діаметр труби, м;  $d_1 = 0,2$  м;

$d_2$  – зовнішній діаметр труби, м;  $d_2 = 0,3$  м;

$l_1$  – довжина труби, м;  $l_1 = 2$  м;

$\alpha$  – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м<sup>2</sup>·°C);  $\alpha = 10$  Вт/(м<sup>2</sup>·°C);

$t_2$  – температура теплоносія, °C;  $t_2 = +70$  °C;

$t_1$  – технологічна температура процесу, °C;  $t_1 = +35$  °C;

$\tau$  – час нагріву, с;  $\tau = 86400$  с.

$$Q_{T1} = 94953 \text{ кДж.}$$

Орієнтовно приймається, що середня товщина шару соломи  $\delta = 1$  м. Солома укладається у вигляді циліндра діаметром  $D_{сол} = 5$  м.

Коефіцієнт теплопровідності соломи приймається  $\alpha_{сол} = 0,06$  Вт/(м<sup>2</sup>·°C).

Розрахункова температура повітря  $T_{II} = -15$  °С. Температура поверхні біореактора  $t_B = +35$  °С.

Розрахунковий період тепловиділення  $\tau = 24$  год = 86400 с.

Висота солом'яного каркасу  $H_{сол} = 7,5$  м.

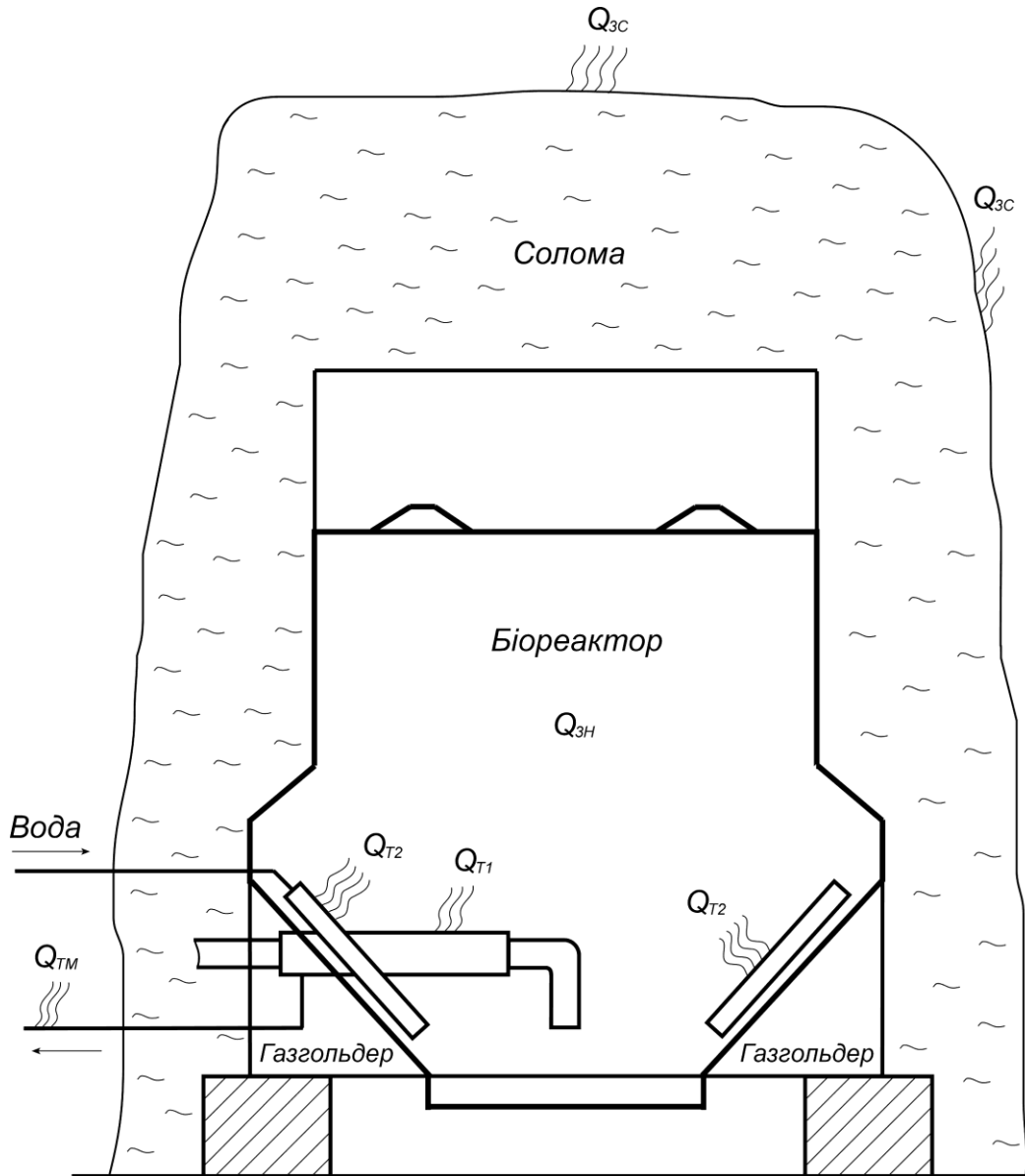


Рисунок 2.2 – Схема теплоізоляції біореактора.

Приблизні втрати теплоти визначаються за формулою:

$$Q_{зс} = \frac{\alpha_{соо} \cdot F_3 \cdot (t_B - t_{II}) \cdot \tau}{\delta}, \quad (2.11)$$

де  $F_3$  – загальна площа поверхні соломи, м<sup>2</sup>;

Загальна площа поверхні соломи складається з бокової площі  $F_B$  і верхньої площі  $F_B$ :

$$F_B = \pi \cdot D_{сол} \cdot H_{сол}, \quad (2.12)$$

Для зменшення втрат теплоти через еластичний матеріал газоакумулятора виготовляється спеціальний дерев'яний каркас, на який вкладається шар соломи товщиною 1м, так щоб солома не заважала переміщенню тяг.

Тоді площа верхньої поверхні орієнтовно вираховується за формулою:

$$F_B = \frac{\pi \cdot D_B^2}{4}, \quad (2.13)$$

$$F_B = 117,8 \text{ м}^2;$$

$$F_B = 19,6 \text{ м}^2;$$

$$F_3 = 137,4 \text{ м}^2.$$

Тоді  $Q_{3C} = 35614$  кДж.

Необхідність теплоти для підігріву гною, який потрапляє в біореактор, розраховується за формулою:

$$Q_{3H} = C_V \cdot m \cdot (t_2 - t_1), \quad (2.14)$$

де  $C_V$  - питома теплоємність гною, кДж/(кг·°C);

$$C_V = 4,19 \text{ кДж/(кг·°C)};$$

$$t_2 - \text{температура нагріву, °C; } t_2 = +35 \text{ °C};$$

$$t_1 - \text{вихідна температура, °C; } t_1 = +10 \text{ °C};$$

$$m - \text{маса гною, кг; } m = 3330 \text{ кг}.$$

$$Q_{3H} = 348817 \text{ кДж}.$$

Теплообмінник виготовляють з труби діаметром 4". Довжину труби теплообмінника визначають за формулою:

$$l_{TP} = \frac{Q_{T2}}{\pi \cdot d_{T2} \cdot \alpha_{TP} \cdot (t_2 - t_1) \cdot \tau}, \quad (2.15)$$

де  $d_{T2}$  - зовнішній діаметр труби, м;  $d_{T2} = 0,1$  м;

$$Q_{T2} = Q_{3H} + Q_{3C} - Q_{T1}, \quad (2.16)$$

$$Q_{T2} = 289478 \text{ кДж}.$$

$$l_{TP} = 30 \text{ м}.$$

Втрати теплоти в тепломережі визначаються за формулою:

$$Q_{TM} = K_B \cdot \pi \cdot (t_H - t_{II}) \cdot l_T \cdot \tau, \quad (2.17)$$

$$\text{де } K_B = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 \cdot d_1} + \frac{1}{2 \cdot \lambda \ln \frac{d_2}{d_1}} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot d_2}}, \quad (2.18)$$

$$t_H - \text{температура теплоносія, °C; } t_H = +60 \text{ °C};$$

$$t_{II} - \text{температура повітря, °C; } t_{II} = -15 \text{ °C};$$

$$l_T - \text{довжина трубопроводу, м; } l_T = 10 \text{ м};$$

$$d_1 - \text{внутрішній діаметр теплоізоляції, м; } d_1 = 0,025 \text{ м};$$

$$d_2 - \text{зовнішній діаметр теплоізоляції, м; } d_2 = 0,3 \text{ м};$$

$\lambda$  - теплопровідність теплоізоляції, Вт/(м·°С);  $\lambda=0,08$  Вт/(м·°С);  
 $\alpha_1, \alpha_2$  - коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м·°С);  $\alpha_1=\alpha_2=5$  Вт/(м·°С).

$$Q_{TM} = 10173 \text{ кДж.}$$

Тепломагістраль складається з двох труб, тому загальні втрати теплоти в тепломережі орієнтовно приймаються в два рази більші:

$$Q_{TM} = 20346 \text{ кДж.}$$

Загальні втрати тепла становлять:

$$Q_{BT} = Q_{3C} + Q_{3H} + Q_{TM}, \quad (4.19)$$

$$Q_{BT} = 404777 \text{ кДж.}$$

Кількість біогазу, необхідного для підтримання технологічного процесу, розраховується за формулою:

$$n_B = \frac{Q_{BT}}{q_B \cdot \eta}, \quad (4.20)$$

де  $q_B$  - теплотворна здатність  $1\text{ м}^3$  біогазу, кДж/м<sup>3</sup>;  $q_B=23000$  кДж/м<sup>3</sup>;

$\eta$  - коефіцієнт корисної дії котла,  $\eta=0,8$ .

$$n_B = 22\text{ м}^3.$$

Мінімальний коефіцієнт виходу товарного біогазу розраховується за формулою:

$$n_{TB} = 1 - \frac{n_B}{W},$$

де  $W$  – добовий вихід біогазу, м<sup>3</sup>/добу;  $W=70$  м<sup>3</sup>/добу.

$$n_{TB} = 0,70 \text{ або } 70 \%.$$

Головним джерелом підвищення коефіцієнта виходу товарного біогазу є зменшення втрат тепла в зовнішнє середовище через оболонку біореактора.

## 2.4 Розрахунок вибору гноєсховища

З метою зниження потрібної ємкості гноєсховища розрахунок проводимо, виходячи із наявності на протязі року в господарстві вільних полів для внесення збродженого гною.

В базовому господарстві вирощують наступні сільськогосподарські культури: озима пшениця, ярий ячмінь, кукурудза на силос, картопля і цукрові буряки.

Період зайнятості полів протягом року складає  $T_{3П}=105$  днів. Тоді необхідна ємкість гноєсховища, м<sup>3</sup>, визначається за формулою:

$$V_{Г.СХ} = T_{3П} \cdot G_{ДОБ} \cdot \eta, \quad (2.21)$$

де  $\eta$  – коефіцієнт запасу,  $\eta=1,4$ ;



$G_{\text{доб}}$  – добовий вихід гною, м<sup>3</sup>;

$T_{\text{зп}}$  – період зайнятості полів, днів.

$$V_{\text{г.сх}} = 105 \cdot 4,158 \cdot 1,4 = 611 \text{ м}^3.$$

## 2.5 Обґрунтування технологічних параметрів мішалки

Для інтенсивного протікання процесу анаеробного бродіння всередині біореактора, крім оптимального теплового режиму, потрібно створити однорідну масу, в якій метаноутворюючі бактерії могли б поширюватись у всіх напрямках. Тобто на процес метанового бродіння органічної речовини впливає використання або невикористання перемішування та інтенсивність застосування мішалки в реакторі дозволяє:

- підтримувати однорідність розподілення завантаженої сировини і постійний контакт її з мікроорганізмами, що дає можливість максимально утилізувати свіжі поживні речовини;
- зберігати на низькому рівні концентрацію продуктів розпаду, так як вони рівномірно розподіляються по всьому об'єму;
- забезпечувати однорідність середовища як по температурі, так і по концентрації поживних елементів, що створює найліпші умови життєдіяльності бактерій;
- знизити концентрацію інгібіруючих речовин в якій-небудь зоні біореактора, що обмежує їх вплив на процес метанового бродіння;
- запобігти утворенню кірки або розбивання її на поверхні, а також утворення нерухомого густого осаду на дні;
- зменшити кількість учасників в біореакторі, в яких можуть утримуватись нерухомі нерозкладені речовини та відпрацьована рідина.

Таким чином, роль перемішування заключається в забезпеченні гомогенізації субстрату в біореакторі і десорбції біогазу.

Мікроорганізми метанового зброджування реагують на короткочасну зміну тиску середовища, який викликає перемішування субстрату. При високій швидкості відносного перемішування шарів біосировини, оболонки мікроорганізмів розриваються, тому перемішування повинні забезпечувати пристрої, які перемішують субстрат із швидкістю не вищою 0,5 м/с. Якщо рідкий гній містить 5...10% сухої речовини, механічні пристрої потрібно використовувати тільки в реакторах місткістю до 100 м<sup>3</sup>. При більшій місткості, збільшується питома витрата енергії на привід та знижується ефективність перемішування.

Отже, приймемо тип мішалки для запропонованого реактора місткістю 20 м<sup>3</sup> - механічний. Знаючи максимальну швидкість перемішування 0,5 м/с – задаємо робочу швидкість обертання мішалки, щоб не перевищувала гранично допустиму. Знаючи діаметр резервуару – 3000 мм, і, враховуючи технологічний зазор між крилами мішалки і стінкою резервуара – 50 мм, знаходимо діаметр, тобто розмах лопастей мішалки по формулі:

$$D_M = D_R - 2b, \quad (2.22)$$

де  $D_M$  – розмах крил мішалки;

$D_R$  – діаметр резервуара;

$b$  – монтажний зазор.

Звідси,  $D_M = 3000 - 100 = 2900$  мм.

Задаючись швидкістю руху максимально віддаленої від центра точки – 0,45 м/с, знайдемо частоту обертання мішалки по формулі:

$$n = \frac{30 \cdot V}{\pi \cdot R}, \quad (2.23)$$

де  $n$  – кількість обертів за хвилину, об/хв;

$R$  – радіус мішалки, м;  $R = 1,45$  м;

$V$  – колова швидкість, м/с.

Тобто,  $n = \frac{30 \cdot 0,45}{3,14 \cdot 1,45} = 3$  хв<sup>-1</sup>.

Кількість лопастей, зважаючи на необхідність якісного та інтенсивного перемішування при обмеженні швидкості обертання мішалки – вибираємо – чотири. Ця кількість буде достатньою для створення гомогенного середовища всередині реактора.

## 2.6 Розрахунок вала мішалки

Для розрахунку валу мішалки, спочатку знайдемо момент опору який діє біомаса на лопасті мішалки. Лопастей у мішалки є чотири і вони однакові, тому розрахуємо одну із них.

З умов технології виробітку біогазу ми знаємо, що найбільша швидкість перемішування біомаси не повинна перевищувати 0,5 м/с. Приймаємо швидкість руху найвіддаленішої точки мішалки – 0,45 м/с. При обертанні вертикальної лопасті на неї діє сила лобового опору. Введемо рухому систему координат  $хоу$ , рис. 2.3.

Виділимо на лопасті елементарну тонку пластинку товщиною  $dx$ . Її площа:

$$dS = a \cdot dx, \quad (2.24)$$

Рахуємо, що густина середовища однорідна і з висотою у не змінюється.  
 При обертанні на цей елемент діє сила:

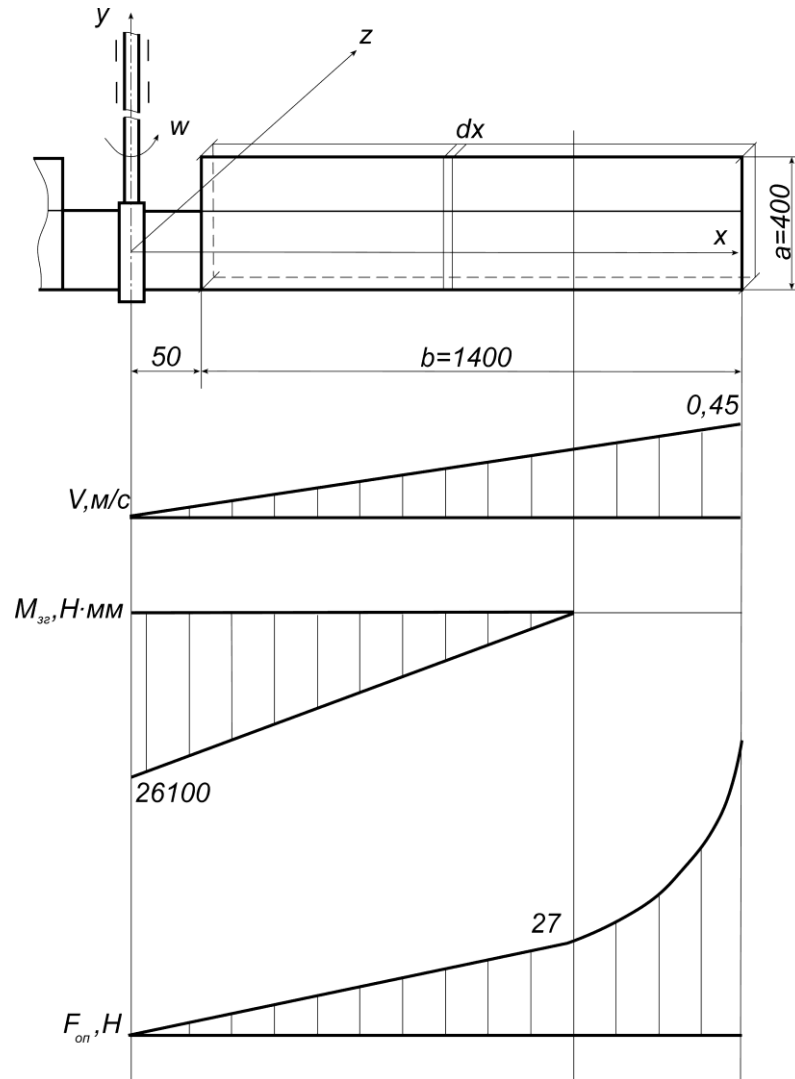


Рисунок 2.3 – Схема розрахунку вала мішалки.

$$dF = \rho \cdot V^2 \cdot dS, \quad (2.25)$$

Лінійна швидкість цього елемента:

$$V = x \cdot \omega, \quad (2.26)$$

Тоді

$$dF = \rho \cdot \omega^2 \cdot a \cdot x^2 \cdot dx, \quad (2.27)$$

Інтегруємо отриманий вираз по  $x$  від 0 до  $b$ :

$$F = \int_0^b dF = \rho \cdot \omega^2 \cdot a \cdot \int_0^b x^2 \cdot dx = \frac{1}{3} \cdot \rho \cdot \omega^2 \cdot a \cdot b^3. \quad (2.28)$$

Оскільки, площа лопасті не суцільна, а решітчаста, то

$$F = \frac{1}{3} \cdot \rho \cdot \omega^2 \cdot a \cdot b^3 \cdot R_{II}, \quad (2.29)$$

де  $\rho$  – густина біомаси,  $\rho = 1046 \text{ кг/м}^3$ ;

$\omega$  – кутова швидкість;

$a$  – висота лопасті;

$b$  – довжина лопасті;

$R_{II}$  – коефіцієнт врахування площі; для решітчастих лопастей

$$R_{II} = 0,65;$$

Обчислимо кутову швидкість мішалки:

$$\omega = \frac{V}{R}. \quad (2.30)$$

де  $R$  – відстань найвіддаленішої точки лопасті,  $R = 1,45$  м;

$$\omega = \frac{0,45}{1,45} = 0,314 \text{ рад/с.}$$

Тоді 
$$F = \frac{1}{3} \cdot 1046,4 \cdot 0,314^2 \cdot 0,4 \cdot 1,45^3 \cdot 0,65 = 27 \text{ Н.}$$

Оскільки лопастей чотири, то сила опору повинна бути рівною:

$$F_{II} = 4F = 4 \cdot 27 = 108 \text{ Н.}$$

Крутний момент опору на валу мішалки:

$$M = F \cdot \frac{2}{3} \cdot R, \quad (2.31)$$

де  $R$  – повна довжина лопасті,  $R = 1450$  мм;

$\frac{2}{3} \cdot R$  – точка прикладання сили  $F$ .

$$M = 108 \cdot \frac{2}{3} \cdot 1450 = 104400 \text{ Н}\cdot\text{мм.}$$

Розрахуємо наближено середній діаметр вала з розрахунку на кручення по формулі:

$$d = \sqrt[3]{\frac{T}{0,2 \cdot [\tau]}}, \quad (2.32)$$

де  $T = M$  – крутний момент на валу;

$[\tau]$  – допустиме напруження на кручення,  $[\tau] = (20 \dots 30)$  МПа.

$$d = \sqrt[3]{\frac{104400}{0,2 \cdot [30]}} = 25,9 \text{ мм.}$$

Тобто, з врахуванням обертання іммобілізатора приймаємо діаметр вала 30 мм.

Розрахуємо зварний шов в самому небезпечному з'єднанні (лопасть мішалки – трубчаста муфта).

Зовнішній діаметр труби  $d = 33,5$  мм, товщина стінки труби  $\delta = 3,2$  мм.

Напруження в шві від згинаючого моменту  $M_{TP} = \frac{M}{8}$ , бо в одній лопасті приварюються дві труби. Тобто,

$$M_{TP} = \frac{104,4}{8} = 13,05 \text{ Н}\cdot\text{м}, \quad (2.33)$$

Напруження в шві від крутного моменту – відсутнє, бо труби зрівноважують одна одну. Тому вважаємо, що  $T=0$ .

Матеріал труби – Ст3. Зварювання ручне електродом Е42.

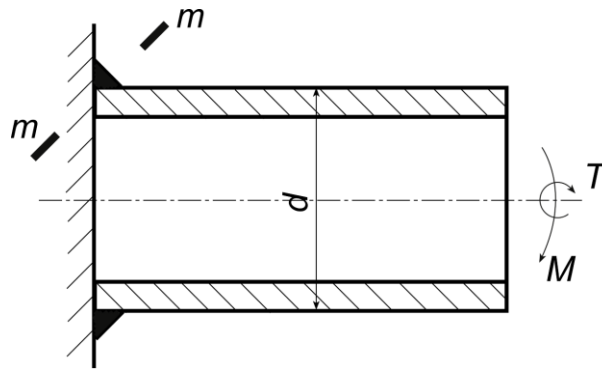


Рисунок 2.4 – Розрахунок зварного шва.

Визначаємо напруження від  $M_{TP}$  по формулі:

$$\tau_M = \frac{M}{W} \approx \frac{4 \cdot M}{0,7 \cdot R \cdot \pi \cdot d^2}, \quad (2.34)$$

$$\tau_M = \frac{4 \cdot 13,05}{0,7 \cdot R \cdot \pi \cdot 33,5^2},$$

$$\tau_M = \frac{0,02}{R}.$$

Напруження  $\tau_T$  і  $\tau_M$  в перерізі  $m-m$  (рис 5.3) взаємно перпендикулярні.

$$\tau = \sqrt{\tau_T^2 + \tau_M^2} \leq [\tau], \quad (2.35)$$

Якщо  $T=0$ ,  $\tau_T=0$ . Тобто,

$$\tau = \sqrt{\tau_M^2} = \tau_M \leq 94 \text{ МПа}. \quad (2.36)$$

Звідси,

$$R = \frac{0,02}{94} = 2,1 \cdot 10^{-4} \text{ м} = 0,21 \text{ мм}.$$

Відмітимо, що для прийнятої конструкції шва при умові рівномірності шва і труби потрібно  $R > \delta$ . Більш досконале з'єднання стиковим швом з розробкою кромки. Тому конструктивно приймаємо  $R=4$  мм.

Надалі слід розглянути ряд питань, пов'язаних з організацією безпечних умов роботи лінії та екологічним захистом.

### РОЗДІЛ 3. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ РОБОТИ

Для оцінки з'ясування питання про доцільність використання біогазової установки, необхідно порівняти її техніко-економічні показники з аналогічними показниками лінії видалення і утилізації гною, яка працює за іншою технологічною схемою.

Проведемо таке порівняння з найбільш поширеною в нашому регіоні технологією видалення гною скребковими транспортерами КСН-ф-100 з наступним знезаражуванням гною шляхом витримки його у буртах.

Для цього складемо технологічну карту відповідно для проектного і альтернативного варіантів.

Для початку визначимо вартість нестандартного обладнання, зокрема біогазової установки. Цю величину визначаємо з таких міркувань:

$$B_{CI} = (B_{MB} + B_{CO} + B_{BM}) \cdot K_H \cdot K_M, \quad (3.1)$$

де  $B_{MB}$  – вартість матеріалу біореактора, грн;

$B_{CO}$  – вартість стандартного обладнання, грн;

$B_{BM}$  – вартість будматеріалів для виготовлення фундаментів, грн;

$K_H$  – коефіцієнт, що враховує витрати на монтаж окремих вузлів, випробування системи та переведення установки у робочий режим;  $K_H = 1,25$ ;

$K_M$  – коефіцієнт, що враховує інші накладні витрати, пов'язані з влаштуванням БГУ;  $K_M = 1,1$ .

Вартість теплоізолятора не враховуємо, бо це побічний продукт сільськогосподарського виробництва і для господарства не складає труднощів виділити 40 м<sup>3</sup> соломи, не включаючи її в ціну біогазової установки.

Розрахуємо вартість матеріалу для виготовлення біореактора.

Для прикладу розрахуємо вартість однієї деталі (проміжний блок), і результати занесемо в таблицю додатку А. Розрахунки вартості інших деталей опустимо, але результати також зведемо у таблицю додатку А.

Отже, проміжний блок має форму зрізаного конуса. Щоб знайти площу поверхні використаємо площу визначення площі зрізаного конуса:

$$S = \pi \cdot l \cdot (R_1 + R_2), \quad (3.2)$$

де  $R_1$  і  $R_2$  – радіуси основ;

$$l = \sqrt{0,42^2 + 0,5^2} = 0,65 \text{ м};$$

$$R_1 = 1,5 \text{ м}; \quad R_2 = 2 \text{ м};$$

$l$  – твірна конуса.

Звідси,  $S = 3,14 \cdot 0,65 \cdot (1,5 + 2) = 5,1 \text{ м}^2$ .

Знайдемо об'єм матеріалу:

$$V = S \cdot h, \quad (3.3)$$

де  $h$  – товщина матеріалу, м;  $h = 0,005 \text{ м}$ .

$$V = 5,1 \cdot 0,005 = 0,0255 \text{ м}^3.$$

Отже, маса матеріалу:

$$m = V \cdot \rho, \quad (3.4)$$

де  $\rho$  – густина матеріалу, для сталі  $\rho = 7800 \text{ кг/м}^3$ .

$$m = 0,0255 \cdot 7800 = 200 \text{ кг}.$$

Результат заносимо у таблицю додатку А [18-21].

Підсумовуємо усі результати і отримуємо ціну матеріалів для виготовлення БГУ. Загальна вартість матеріалу для виготовлення одного біореактора 1548383 грн. Оскільки, використовується 3 біогазові установки, то

$$B_{MB} = 3 \cdot 1548383 = 4645149 \text{ грн}.$$

Вартість стандартного обладнання розраховуємо за формулою:

$$B_{CO} = B_P + B_D + B_T + B_{GT}, \quad (3.5)$$

де  $B_P$  – вартість редукторів приводу мішалки, грн;

$B_D$  – вартість двигунів приводу мішалки, грн;

$B_T$  – вартість труб теплозабезпечення, грн;

$B_{GT}$  – вартість газового трубопроводу, грн.

Оскільки, для приводів мішалки потрібно три асинхронні однофазні двигуни АИРЕ 90LB2 потужністю 3 кВт і  $n = 2800 \text{ хв}^{-1}$  та три редуктори РЦД-400, то їхня вартість становитиме:

$$B_P = 3 \cdot 10890 = 26100 \text{ грн};$$

$$B_D = 3 \cdot 6000 = 18000 \text{ грн}.$$

Вартість трубопроводу визначаємо за формулою:

$$B_T = l \cdot C_{МП}, \quad (3.6)$$

де  $l$  – загальна довжина трубопроводу, м;

$C_{МП}$  – ціна 1 м. пог. трубопроводу, грн.

Вартість трубопроводу теплозабезпечення:

$$l_{T3} = 120 \text{ м}; \quad C_{МП} = 240,0 \text{ грн/м.пог [18-21]}.$$

$$B_T = 240,0 \cdot 120 = 28800 \text{ грн}.$$

Вартість газового трубопроводу:

$$l_{Г3} = 70 \text{ м}; \quad C_{МП} = 340,30 \text{ грн/м.пог [18-21]}.$$

$$B_{\text{тг}} = 70 \cdot 340 = 23800 \text{ грн.}$$

Отже,

$$B_{\text{сo}} = 26100 + 18000 + 28800 + 23800 = 96700 \text{ грн.}$$

Вартість будівельних матеріалів зумовлюються ціною 1 м<sup>3</sup>

$$C_{\text{мб}} = 7400 \text{ грн/м}^3.$$

Загальний об'єм фундаментів під біореактори та насосне обладнання – 50 м<sup>3</sup>. Вартість будматеріалів знаходимо по формулі:

$$B_{\text{бм}} = V_{\text{бм}} \cdot C_{\text{мб}}, \quad (3.7)$$

Тобто,  $B_{\text{бм}} = 50 \cdot 7400 = 370000 \text{ грн.}$

Отже, вартість біогазової установки становить:

$$B_{\text{сl}} = (4645149 + 96700 + 370000) \cdot 1,25 \cdot 1,1 = 7028792,375 \text{ грн.}$$

Технологічна карта являє собою таблицю встановленої форми, де почергово записуються всі операції, обсяг робіт, марки обладнання, встановлена потужність, тривалість роботи за добу і балансова вартість машин. Далі за встановленою методикою проводиться розрахунок усіх видів виробничих затрат.

Одержані по окремих операціях результати розрахунків підсумовуються і на їх підставі визначається економічна ефективність розробки.

Величину амортизаційних відрахувань знаходимо по формулі:

$$A_i = a_i \cdot B_{\text{сl}}, \quad (3.8)$$

де  $a_i$  - нормативне значення відрахувань для  $i$ -го виду обладнання, %;

$B_{\text{сl}}$  - балансова вартість  $j$ -го виду обладнання, грн.

Наприклад, для видалення гною з приміщень транспортером КСН-ф-100 балансова вартість якого 48750 грн, величина амортизаційних відрахувань:

$$A_1 = 0,146 \cdot 48750 = 7117,5 \text{ грн.}$$

Далі розрахунок проводиться аналогічно для кожної технологічної операції і відповідно заноситься в технологічну карту.

Витрати електроенергії розраховуються за формулою:

$$B_{\text{сl}} = N_i \cdot T_i \cdot n_i, \quad (3.9)$$

де  $N_i$  - встановлена потужність електроприводу  $i$ -го обладнання, кВт;

$T_i$  - річний наробіток машин, год;

$n_i$  - кількість машин, шт.

Для видалення гною з приміщень транспортером ТСН-3,0Б, потужність електроприводу якого – 5,5 кВт, річний наробіток якого 620,5 год і кількість їх – 1 шт, річна витрата електроенергії становить:

$$B_{\text{сl}} = 5,5 \cdot 620,5 \cdot 1 = 3413 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$



Для машин, які працюють від ДВЗ, визначаємо витрату пально-мастильних матеріалів:

$$W_{nl} = q_I \cdot T_I, \quad (3.10)$$

де  $q_I$  – годинна витрата палива; для трактора МТЗ-80 –  $q_I = 12,8$  кг/год.  
Вартість витрачених енергоносіїв знаходимо, як:

$$B_I = W_{nl} \cdot C_2,$$

де  $W_{nl}$  – річні витрати електроенергії або палива на операцію, кВт·год, кг;

$C_2$  - вартість енергоносія 45,0 грн/кг для дизпалива.

Наприклад, при перевезенні гною з гноєсховища тракторним агрегатом (витрата пального за рік  $W_2 = 5584,5$  кг) вартість витраченого пального

$$B_I = 5584,5 \cdot 45,0 = 251302,5 \text{ грн.}$$

Зарплату персоналу розраховуємо як

$$З_{III} = T_{nl} \cdot C_{II}, \quad (3.11)$$

де  $T_{nl}$  – річні затрати праці на виконанні  $i$ -ої операції, люд·год;

$C_{II}$  – тарифна ставка.

Рекомендоване середнє значення для орієнтовних розрахунків  $C_{II} = 50 \dots 60$  грн/год., залежно від виду робіт.

Наприклад, при транспортуванні гною до гноєсховища тракторним агрегатом зарплата персоналу рівна:

$$З_{III} = 60 \cdot 547,5 = 32850 \text{ грн.}$$

Інші види витрат приймаємо у кількості, грн

$$I = 0,1 \cdot (A_I + B_{CI} + З_{III}), \quad (3.12)$$

Річні експлуатаційні затрати являють собою суму усіх розглянутих видів затрат, грн:

$$E_I = A_I + B_I + З_{III} + I, \quad (3.13)$$

Річні приведені витрати розраховуються з урахуванням нормативної ефективності капітальних вкладень:

$$П_{II} = 0,15 \cdot B_{CI} + E_I, \quad (3.14)$$

Потім знаходимо підсумкові значення, які відповідно для базового і проектного варіантів становлять:

$П_6 = 13095$  тис. грн – базовий,  $П_{II} = 4645$  тис. грн.. – проектний.

Річна економія приведених затрат у випадку впровадження проекту становлять:

$$\Delta П = П_6 - П_{II} = 13095,00 - 4645,14 = 8449,8 \text{ тис. грн.}$$

Слід врахувати також ще й те, що запропонована технологія утилізації гною дозволяє одержувати біогаз, який може бути досить цінним замінником природного газу.

Знаючи, що вихід товарного біогазу 40 м<sup>3</sup> за добу – знайдемо річний вихід біогазу:

$$G_{TP} = G_T \cdot T_I, \quad (3.15)$$

де  $G_T$  – добовий вихід товарного біогазу,  $G_T = 40$  м<sup>3</sup>;  
 $T_I = 365$  днів.

$$G_{TP} = 40 \cdot 365 = 14600 \text{ м}^3.$$

Ця кількість біогазу еквівалентна такій кількості природного газу

$$G_{ДП} = G_{TP} \cdot \frac{q_B}{q_{нз}}, \quad (3.16)$$

де  $q_B$  – теплотворна здатність 1 м<sup>3</sup> біогазу,  $q_B = 23$  МДж;  
 $q_{нз}$  – теплотворна здатність 1 м<sup>3</sup> природного газу  $q_{нз} = 33$  МДж.

$$G_{ДП} = 14600 \cdot \frac{23}{33} = 10175 \text{ м}^3$$

Тоді ефект від одержаного біогазу становить:

$$E_2 = G_{нз} \cdot C_{нз}, \quad (3.17)$$

де  $C_{нз}$  – ціна природного газу,  $C_{нз} = 14,5$  грн/м<sup>3</sup>

$$E_2 = 10175 \cdot 14,5 = 147537,5 \approx 147,5 \text{ тис. грн.}$$

Тоді загальний економічний ефект від впровадження лінії за рік:

$$E = E_1 + E_2 = 4645,14 + 147,5 = 6120,14 \text{ тис. грн.}$$

Термін окупності лінії становить:

$$T_{ок} = \frac{B_c}{E} = \frac{7028,79}{6120,14} = 1,14 \text{ року.} \quad (3.18)$$

## ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

1. На даний час тваринництво відіграє важливу роль, тому що у даній галузі виробляється близько 1/3 всієї товарної продукції. Однак в останні роки в силу ряду причин у занепад прийшов такий виробничий напрямок, як відгодівля свиней, хоча саме він може швидко стати найбільш прибутковим завдяки позитивним зрушенням на ринку і у аграрній політиці держави. Відновити діяльність свиноферми цілком можливо (оскільки збереглись виробничі приміщення, споруди і частина обладнання), але ефективність свинарства буде досягнута лише за умови кардинального покращення технології утримання свиней. Зокрема, очевидно доцільним є запровадження для видалення і транспортування гною скреперних установок ТС-1, а для його утилізації – біогазової установки. Це не лише дозволить виключити витрати на роботу тракторних агрегатів для перевезення і буртування гною, скоротити витрати праці на очищення кліток, але й одержувати високоякісне органічне добриво і біогаз.

2. Огляд найбільш поширених конструкцій біогазових установок показав, що вони розраховані переважно на велике поголів'я і передбачають значні капітальні вкладення; отже, виникає необхідність у розробці нетипової біогазової установки для умов базової свиноферми з поголів'ям 500 гол. Щодо технологічного процесу роботи, то у даному випадку доцільно передбачити роботу установки у мезофільному режимі (при цьому зменшуються витрати на підігрівання маси). Крім того, для скорочення капітальних витрат запропоновано виготовити реактор із металевих листів, форма якого дозволяє розташувати у ньому газгольдер.

Для стабілізації процесу бродіння слід застосувати іммобілайзер – пристрій у вигляді сітки для запобігання піноутворенню і концентрації у верхній частині легких рослинних домішок, які перешкоджають нормальному протіканню процесу.

3. На підставі технологічних розрахунків встановлено, що розрахунковий добовий вихід гною становитиме близько 6,5 т. Для дотримання повного циклу бродіння впродовж 12 діб об'єм реактора має становити 25 м<sup>3</sup> при кількості реакторів 3 шт. Завдяки застосуванню біогазової установки можливо впродовж року одержати товарного біогазу на рівні 30 тис. м<sup>3</sup>.

На підставі техніко-економічних розрахунків встановлено, що орієнтовні капітальні витрати на впровадження проектних рішень становитимуть 7028,79 тис. грн.. Але завдяки скороченню експлуатаційних витрат та виробництву товарного біогазу річний економічний ефект може становити 6120,14 тис. грн., що дозволить окупили проект за термін до 2-х років.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Проектування механізованих технологічних процесів тваринницьких підприємств / за ред. І. І. Ревенка. – К.: Урожай, 1999. 280 с.
2. Реконструкція тваринницьких ферм / В. І. Райко, Ю. І. Кошиць, - К.: Будівельник, 2002. 72 с.
3. Титаренко М.В. Енергозабезпечення підприємств АПК. К.: Кондор, 2004. 248 с.
4. Правила безпечної експлуатації електроустановок. К.: Держнагляд-охоронпраці України, 1998. 336 с.
5. Омельченко О. О., Ткач В. Д. Довідник з механізації тваринництва і птахівництва ферм та комплексів. – К.: Урожай, 1990. 268 с.
6. Машиновикористання у тваринництві / За ред. І. І. Ревенка. К.: Урожай, 1994. 208 с.
7. Котельні установки в сільському господарстві / В.І. Халабузарь, І.Д. Олешо, М.А. Власов та ін. К.: Урожай, 2005. 303 с.
8. Корчемний М., Федоренко В., Щербань В. Енергозбереження в агропромисловому комплексі – Тернопіль: Підручники і посібники, 2001. – 508 с.
9. Брагінець М. В., Педченко П. В. Монтаж, експлуатація і ремонт машин у тваринництві. К.: Вища школа, 1991. 288 с.
10. Helmut Kaizer Consultancy. Доклад компании о состоянии рынка биогазовых установок // Альтернативное топливо. – 2010.-№3 (3). С. 28-30.
11. Гелетуха Г.Г. Перспективы развития современные технологий анаэробного сбраживания биомассы в Украине (Обзор) [Текст]. Г.Г. Гелетуха, Кобзар С.Г. // Эко-технологии и ресурсосбережение. 2002. - № 5. . 3-9с.
12. Біопаливо. [Текст]. Рубан Б. О. Основні проблеми створення біогазових установок / Б. О. Рубан, Г. А. Голуб, С. В. Драгнєв, О. В. Дубровіна / / Науковий вісник Національного аграрного університету України. 2004. № 73. С. 195-201. (Технології, машини і обладнання) / [В.О. Дубровін, М.О.Корчемний, І.П. Масло та ін.]. – К. : ЦТІ «Енергетика і електрифікація», 2004.– 256 с.: іл.. 157.
13. Рубан Б. О. Основні проблеми створення біогазових установок [Текст]/ Б. О. Рубан, Г. А. Голуб, С. В. Драгнєв, О. В. Дубровіна // Науковий вісник Національного аграрного університету України. 2004. № 73. 195 -201 с.
14. Шацький В. В. Виробництво біогазу в сільському господарстві в Україні [Текст] / В. В. Шацький, В. М. Павліченко, Г. Є. Мовсєсов // Науковий вісник Національного аграрного університету України. - 2004. - №73. 104-108 с.

15. Огляд технології анаеробного перероблення органічних відходів [Текст]: Й.Мисак, Я. Гнатишин, Т. Шумський // Вісн. Нац. Ун-ту «Львів. політехніка». – 2004. - № 506: Теплоенергетика. Інженерія довкілля. Автоматизація. 62-67 с.

16. Біогазові технології. Енергетичні та екологічні аспекти [Текст]: Монографія / Ю. В. Куріс, І. Ф. Червоний. – Запоріжжя, ЗДІА, 2010. – 488 с.

17. Гелетуха Г. Г. Стан та перспективи розвитку біоенергетики в Україні / Г. Г. Гелетуха, Т. А. Железна, Ю. Б. Матвеев, М. М. Жовнір [Текст]: Науковий вісник Національного аграрного університету України. - 2004. - № 73. 131-138 с.

18. [https://ssc.org.ua/ua/metal/price\\_page.html](https://ssc.org.ua/ua/metal/price_page.html)

19. <https://zhytomyr.kub.in.ua/metaloprokat/>

20. <https://index.minfin.com.ua/ua/tariff/gas/>

21. <https://index.minfin.com.ua/ua/tariff/gas/prom/2023-01-01/>

Таблиця А – Відомість витрати матеріалів конструкції біореактора

№ п/п	Назва вузла	Вид матеріалу	Од. виміру	Кількість	Ціна, грн
1	Кришка реактора	дошка обрізна	м <sup>3</sup>	3	3450
2	Кришка газонакопичувача	сталь, 5мм, 12×13	кг	40	2200
3	Верхній циліндр	сталь, 5мм, 12×13	кг	590	32450
4	Проміжний блок	сталь, 5мм, 12×13	кг	200	11000
5	Середній блок	сталь, 5мм, 12×13	кг	180	9900
6	Циліндр газгольдера	листова сталь, 15мм	кг	1770	431880
7	Дно газгольдера	листова сталь, 15мм	кг	1430	348920
8	Конус газгольдера	листова сталь, 15мм	кг	1770	431880
9	Конус реактора	листова сталь, 5мм	кг	590	32450
10	Люк оглядовий	листова сталь, 5мм	кг	15	825
11	Підсилюючі кільця і ребра	металопрокат	кг	350	11900
12	Імобілізатор	листова сталь, 5мм	кг	170	9350
13	Мішалка	труба, d = 1"	кг	150	36000
14	Вал мішалки з корпусом	круг Ст45	кг	28	1218
	Підшипник	–	шт	2	750
15	Манжети	гума	шт	2	140
16	Болти і гайки	–	кг	25	6825
17	Розвантажувальний механізм	Ст3, круг d = 30мм	кг	120	8160
18	Розподільчі крани	–	шт	4	5940
	Газонакопичувач	поліматеріал	м <sup>2</sup>	12	3600
19	Лакофарбові матеріали	ПФ-150, ГФ-020	кг	10	3131
20	Електроди	–	кг	150	60000
21	Теплообмінник	труба, d = 4"	м.п.	30	96414
	Всього		грн		1548383