

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра механічної та електричної інженерії

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти
магістр

на тему: «Обґрунтування конструктивних параметрів біогазової установки»

КРМ.133ГМмд_21.09.000 ПЗ

Виконав: здобувач вищої освіти
за освітньо-професійною програмою
*«Машини і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва»*
спеціальності 133 «Галузеве
машинобудування»
ступеня вищої освіти *магістр*
групи 133ГМмд_21
ЯРЕМЕНКО Віталій

Керівник: канд. техн. наук, доцент
ХАРАК Руслан

Полтава – 2025 року

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 4 розділів, 5 додатків, 20 рисунків, 7 таблиць, 31 використаних джерел, 86 сторінок.

Об'єкт розробки – процес планування біогазових установок для утилізації рослинних та тваринних відходів на сільськогосподарських підприємствах.

Предмет розробки – теоретичні, наукові та методологічні основи, а також практичні рекомендації щодо діяльності компаній у сфері виробництва альтернативної енергетики.

Постановка актуальної технічної задачі – розробка кінематичної схеми біогазової установки та створення математичної моделі.

Мета кваліфікаційної роботи магістра – розробка та вдосконалення теоретичних, наукових та методологічних підходів, а також практичних рекомендацій щодо моделювання будівництва біогазових установок для забезпечення ефективної роботи сільськогосподарських підприємств.

Практичне значення кваліфікаційної роботи магістра – визначені залежності в'язкістних властивостей від складу компонентів сумішей і температури.

У **першому розділі** присвячений техніко-технологічним особливостям виробництва біогазу та енергетична оцінка його виробництва.

У **другому розділі** представлена методика кінематичного аналізу біогазової установки та визначення ефективності використання об'єму реактора біогазової установки.

У **третьому розділі** наведені результати теоретичних досліджень.

У **четвертому розділі** було приділено увагу питанням охорони праці, екологічної експертизи та економічної ефективності розробок.

Практичні результати роботи – розроблено математичну модель для розрахунку кінематики та визначення коефіцієнта використання об'єму реактора біогазової установки.

Рекомендації щодо використання результатів роботи – виведено аналітичні залежності, що описують положення біогазової установки як функцію кута встановлення реактора, відстані завантажувального пристрою до основи реактора, кута встановлення та діаметра завантажувального пристрою, а також геометричних параметрів реактора.

Сфера застосування результатів роботи – біогазові установки.

Ілюстраційна частина кваліфікаційної роботи – 8 аркушів.

Результат перевірки тексту пояснювальної записки на плагіат за допомогою сервісу "StrikePlagiarism",: унікальність тексту – 76%.

АНОТАЦІЯ

Визначено найважливіші технологічні етапи виробництва біогазу. Встановлено, що залежно від стану використовуваної сировини та її технологічних параметрів, кількість та послідовність цих етапів можуть змінюватися в кожному окремому випадку. Крім того, процес виробництва біогазу вимагає постійного та своєчасного контролю параметрів ферментації. Визначено аналітичні залежності, що описують положення біогазової установки відносно кута нахилу реактора, відстані системи подачі до основи реактора, кута та діаметра системи подачі, а також габаритних розмірів реактора. Для об'єктивної оцінки ефективності використання об'єму реактора біогазової установки було використано такий показник, як коефіцієнт заповнення, який залежить від кінематики реактора біогазової установки.

БІОГАЗ, МОДЕЛЬ, РЕАКТОР, КІНЕМАТИЧНИЙ АНАЛІЗ, ВЕКТОР, ЗАЛЕЖНІСТЬ.

ANNOTATION

The most important technological stages of biogas production have been determined. It has been established that depending on the state of the raw materials used and its technological parameters, the number and sequence of these stages

may vary in each individual case. In addition, the biogas production process requires constant and timely control of fermentation parameters. Analytical dependencies have been determined that describe the position of the biogas plant relative to the angle of inclination of the reactor, the distance of the feed system to the base of the reactor, the angle and diameter of the feed system, as well as the overall dimensions of the reactor. To objectively assess the efficiency of using the volume of the biogas plant reactor, an indicator such as the filling factor was used, which depends on the kinematics of the biogas plant reactor.

BIOGAS, MODEL, REACTOR, KINEMATIC ANALYSIS, VECTOR, DEPENDENCE.

ЗМІСТ

	ст.
ВСТУП	8
1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	10
1.1 Перспективи виробництва біогазу в Україні	10
1.2 Принцип дії біогазової установки	17
1.3 Конструкція біогазових установок	18
1.3.1 Реактор	18
1.3.2 Механізм завантаження і вивантаження	20
1.3.3 Механізм підігріву сировини	21
1.3.4 Механізм перемішування сировини	22
1.3.5 Система відбору біогазу	24
1.4 Схеми біогазових установок	26
1.5 Висновки та напрямок дослідження	31
2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ	32
2.1 Методологічні основи функціонування біогазових установок	32
2.2 Розробка технологічної схеми виробництва біогазу	35
2.3 Удосконалення механізму завантаження біогазової установки	37
2.4 Методика кінематичного аналізу біогазової установки	39
2.5 Методика визначення ефективності використання об'єму реактора біогазової установки	45
2.4 Висновки по розділу	46
3 РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	48
3.1 Розрахунок кінематики біогазової установки	48
3.2 Визначення ефективності використання об'єму реактора біогазової установки	49
3.3 Розрахунок кінематики та визначення коефіцієнта використання об'єму реактора	50
3.4 Висновки по розділу	56

4 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РОЗРОБОК	58
4.1 Екологічна експертиза	58
4.2 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	62
4.2.1 Значення охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.	62
4.2.2 Вимоги безпеки при роботі з біогазом	64
4.2.3 Алгоритм виявлення, оцінки та зменшення ризиків виникнення небезпечних ситуацій на виробництві	68
4.3 Техніко-економічне обґрунтування розробки	70
ВИСНОВКИ	76
СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.	78
ДОДАТКИ	81

ВСТУП

На сучасному етапі розвитку Україна є енергозалежною державою. Вона покриває лише 45 % своїх енергетичних потреб за рахунок власного виробництва, зокрема 10–12 % загального споживання нафти, 20–25 % споживання природного газу та 90–92 % споживання вугілля [1]. Водночас постає питання про альтернативні джерела енергії, оскільки традиційні види палива є вичерпними, а їхні запаси щороку зменшуються.

Останні результати досліджень показують, що виробництво біодизеля та біоетанолу є суперечливим, оскільки технології виробництва є дорогими, а використання біомаси має певні екологічні та економічні наслідки.

Тому виробництво біогазу з органічних відходів сільськогосподарських підприємств набуває все більшого значення.

Біогаз – це горюче паливо, яке отримують за допомогою бактерій з органічних відходів (залишків їжі, відходів тваринництва) і який має склад, схожий до складу природного газу: до 98 % метану, а також містить сірководень, вуглекислий газ, воду і т.д. Біогаз має ряд деяких переваг перед природним газом, зокрема [2]:

– біогаз виробляється з біологічної сировини. Тому його виробництво та використання є частиною природного циклу вуглецю, що дозволяє зменшити накопичення природного газу в атмосфері та парникового ефекту. Натомість природний газ видобувається з глибоких родовищ нафти і не є складовою атмосфери. як наслідок його спалювання приводить до накопичення вуглекислого газу.

– біогаз є відновлюваним джерелом енергії і тому є невичерпним. За поточного рівня споживання запасів природного газу та нафти вистачить, за прогнозами, максимум на 50 років.

– біогаз виробляється в безпосередній близькості до споживачів. Сировинна база для його виробництва також знаходиться поблизу

виробничих потужностей. Довгі транспортні шляхи не потрібні. З огляду на певну енергетичну залежність України та переваги біогазу до природного газу, дослідження шляхів його впровадження має велике значення.

1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Перспективи виробництва біогазу в Україні

За статистичними даними Міжнародного енергетичного агентства (МЕА), у 2010 році 13,1 % світової первинної енергії походило з відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) [3].

З 1991 по 2010 рік частка відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) в споживанні Європейського Союзу подвоїлася і склала 12,4 % від загального кінцевого енергоспоживання ЄС-27.

Одним з найважливіших секторів ВДЕ у світі є виробництво та використання біогазу в енергетичних цілях.

Беззаперечним світовим лідером у виробництві біогазу є Європейський Союз загалом і Німеччина зокрема. Загальна кількість біогазових установок (БГУ) у Європі перевищує 11 тис. шт., з них 7 200 розташовані в Німеччині.

Загальний обсяг виробництва біогазу в ЄС-25 у 2010 році становив 10,9 млн. тонн (що відповідає 13,5 млрд кубометрів природного газу), з них 6,7 млн. тонн було вироблено в Німеччині, що відповідає річному приросту на 31,3 %.

В 2011 році 56,7 % біогазу в ЄС було вироблено на БГУ з агропромислових відходів та спеціально вирощених рослин. Близько однієї третини біогазу походило зі сміттєзвалищ. Решта 12 % було вироблено на очисних спорудах.

Біогаз використовувався переважно для виробництва електроенергії та тепла. У 2011 році виробництво електроенергії з біогазу в ЄС зросло на 18,4 % порівняно з 2010 роком і досягло 35,9 ТВт·год. Одночасно продажі тепла, яке вироблене з біогазу, підприємствам та мережам централізованого тепlopостачання зросли на 16 % і досягли 2,2 млн. тонн.

Частка біогазу у виробництві електроенергії з відновлюваних джерел енергії в ЄС становить 4,5 %, а частка у виробництві електроенергії з біомаси – 24,4 %.

Згідно з прогнозом Європейської комісії відносно структури виробництва електроенергії з ВДЕ в ЄС у 2026 році, частка електроенергії з біогазу становитиме 8 % і тим самим перевищить внесок малих гідроелектростанцій, геотермальної енергії, сонячної енергії та електроенергії з твердих відходів.

За останні роки стрімко набули розвитку проекти з виробництва очищеного біогазу – біометану – з подальшим постачанням його в газову мережу.

У 2011 році в ЄС налічувалося близько 180 біометанових установок, з яких 130 постачали біометан в газорозподільні мережі. В інших установках біометан використовувався як паливо для легкових автомобілів.

Загальний обсяг виробництва біометану в восьми країнах ЄС у 2010/11 році становив 0,5 млрд кубометрів на рік. Високі обсяги біогазу та біометану були результатом додаткового використання спеціально вирощених рослин, головним чином силосного кукурудзи, як сировини. Наприклад, у Німеччині для цих цілей використовувалося близько 1 млн гектарів, що становить 8,3 % від загальної площі орних земель.

За оцінками аналітиків, ринок біогазу продовжуватиме стрімко розвиватися і замінюватиме інші джерела енергії в енергетичному балансі країн.

В Україні є поодинокі приклади використання біогазових технологій (таблиця 1.1). Перша установка була побудована в 1993 році на свинофермі «Запоріжсталь». Серед інших операторів були «Агро-Овен», «Еліта» та «Українська молочна компанія».

Таблиця 1.1 – Діючі біогазові установки в Україні

Підприємство	Рік запуску	Поголів'я	Сировина	Об'єм сировини, тонн на добу	Об'єм реакторів, м ³	Потужність, кВт	Технологія
Свиноферма комбінату "Запоріжсталь", Запоріжжя	1993	12 000	Гній	20-22	595	-	<u>Bigadan Ltd.</u> , Данія
Свиноферма корпорації "Агро-овен", Оленівка, Дніпропетровська область	2003	15 000	Гній, жирові відходи	80	2x1000	180	BTG, Нідерланди
Аграрна компанія "Еліта", Терезине, Київська область	2009	1 000	Гній	60	1 500	250	LIPP, ФРН
Ферма ВРХ "УМК", В. Крупіль, Київська область	2009	6 000	Гній	400	3x2400 + 1 000	955	<u>"Зорг"</u> , Україна

БГУ на заводі «Запоріжсталь» була побудована для очищення стічних вод і зменшення енергоспоживання. Теплова утилізація біогазу використовується для покриття власних потреб заводу.

В свинарському господарстві «Агро-Овен» електроенергія, вироблена на біогазовій установці, використовується для власних потреб господарства і підприємства, оскільки теплоелектростанція не була підключена до державної електромережі.

Експлуатація БГУ компанії «Еліта» була призупинена в 2011 році через недостатню рентабельність без тарифу на екологічну електроенергію (зелений тариф). Єдина біогазова установка, підключена до мережі, знаходиться на території підприємства «Українська молочна компанія».

У вересні 2011 року розпочалося будівництво БГУ на території свинарського господарства в селі Копанки Івано-Франківської області.

У 2012 році «Миронівський хлібопродукт» розпочав будівельні роботи БГУ на птахофабриці «Оріль-лідер», розташованій в Дніпропетровській

області. Компанія «Укрлендфармінг» планує реалізувати амбітну біогазову програму з тридцятьма біогазовими установками. У 2012 році агропромисловий концерн «Астарта-Київ» оголосив про будівництво установки на цукровому заводі «Глобинський» (Полтавська область) за кредитом ЄБРР.

Тому впровадження біогазових технологій залишається однією із задач провідних підприємств аграрної галузі, які мають необхідні ресурси для діяльності навіть в умовах недостатнього фінансування та малих інвестицій. Крім того, біогазові установки працюють на звалищах в Львові, Кременчуку та Києві, а також на вентиляційній станції Бортиця.

Таблиця 1.2 – Системи збору та утилізації біогазу на полігонах ТПВ

Полігон	Кількість ТПВ, млн тонн	Площа полігону, га	Період експлуатації полігону	Початок збору біогазу	Технологія утилізації
Львів	4,0	26,0	1957	2009	ФУ HOFGAS-Ready 2000
Кременчук	2,8	15,0	1965	н/д	ФУ <u>Haase</u>
Запоріжжя	3,2	11,0	1952	2011	ФУ <u>Haase</u>
Вінниця	3,0	10,0	1980	2012	ФУ <u>Haase</u>
Київ	10,0	36,0	1986	2012	ДВР TEDOM 5x189 кВт

Проект, який реалізований компанією ЛНК на полігоні № 5 м. Києва, є найуспішнішим біогазовим проектом в Україні. Полігон оснащений п'ятьма біогазовими двигунами TEDOM, кожен з яких має встановлену потужність 177 кВт.

У 2012 році було вироблено 3,26 ГВт·год електроенергії, яка була подана в електромережу і продана за економічно вигідним тарифом, який встановив український регуляторний орган НКРЕ.

Компанія розширює потужність цього проекту: в середині 2013 року планується ввести в експлуатацію газопоршневу установку GE Jenbacher, яка має потужність 1063 кВт.

Також у червні 2013 року ЛНК ввела в експлуатацію аналогічну газову поршневу установку на полігоні побутових відходів у м. Борисполі. З травня 2013 року ЛНК продає електроенергію, вироблену на полігоні Бориспіль з біогазу, за тарифом на екологічну електроенергію 1,34 грн. за кВт·год.

Український АПК має ресурси для виробництва біогазу, оскільки виробляє значні обсяги органічних відходів, які здатні замінити 1,5 млрд. м³ природного газу на рік. При подальшому розвитку галузі та ширшим використанням рослинної продукції цей потенціал можна було б збільшити до 18 млрд. м³ природного газу.

У першому сценарії планується використовувати 6 % ріллі для вирощування кукурудзи для виробництва біогазу з консервативною врожайністю 30 тонн з гектара. Другий варіант, який передбачає вищу врожайність, передбачає використання 7,9 мільйона гектарів незайманих земель з урахуванням вищої врожайності.

Таблиця 1.3 – Потенційне виробництво біогазу в АПК України

Вид діяльності	Кількість підприємств в Україні	Загальний обсяг основних відходів	Потенціал виробництва біогазу із загального обсягу відходів і продукції
		тис тонн	млн кубометрів на рік
1	2	3	4
Всього в Україні	11 667	39 727	9 543
Цукрові заводи	60	23 264	976
Пивзаводи	51	1 017	122
Спиртові заводи	58	2 705	117
Ферми ВРХ	5 079	15 432	386
Свиноферми	5 634	5 657	160
Птахофабрики	785	4 722	378
Силос кукурудзи			7 406

Більша частина потенційного ринку біогазу в Україні повинна бути реалізована до 2030 року. Однією з умов для реалізації цих проектів на першому етапі є запровадження економічно обґрунтованого тарифу на електроенергію з біогазу.

Для реалізації проектів у сфері біогазової енергетики важливо заохочувати виробництво електроенергії з біогазу, який отримують не тільки з відходів рослинництва, а й зі спеціально вирощеної рослинної сировини.

Одночасно з виробництвом електроенергії необхідно впровадити виробництво біометану для заміни природного газу або для більш ефективного енергетичного використання біогазу у виробництві електроенергії і тепла. Одним із дієвих і ефективних механізмів сприяння розвитку ВДЕ у світі є застосування фіксованих тарифів на електроенергію, вироблену з ВДЕ.

В Україні законодавчо гарантований тариф на електроенергію, вироблену з біогазу, діє тільки з квітня 2013 року і становить 0,1239 євро за кВт·год – з коефіцієнтом тарифу на електроенергію з відновлюваних джерел енергії 2,3.

Наступні правові перешкоди гальмують розвиток виробництва енергії з біомаси, і пропонуються пропозиції щодо їх подолання:

1. Недостатньо низький коефіцієнт тарифу на екологічну електроенергію, вироблену з біогазу.
2. Неправильне визначення поняття «біомаса».
3. Невідповідні вимоги до частки «місцевого компонента» – частки вітчизняного обладнання, матеріалів та послуг у вартості проекту.
4. Термінологічні помилки в описі основних компонентів установок для використання енергії біогазу.
5. Дискримінація біогазових установок, введених в експлуатацію до 1 квітня 2013 року.

Окрім цих правових перешкод, існують й інші проблеми для розвитку виробництва біогазу:

1. Відсутність правової бази.
2. Складнощі з отриманням податкових пільг при імпорті біоенергетичних установок.

3. Відсутність цільового фінансування українських проектів з будівництва біогазових установок.

4. Відсутність програми розвитку галузі.

З урахуванням технічної та економічної доцільності, а також поточної структури та розміру українських сільськогосподарських підприємств, обсяг ринку БГУ оцінюється в 1600 одиниць з міні-когенераційними установками потужністю від 100 кВт. Встановлена потужність БГУ може досягти 820 МВт електроенергії та 1100 МВт тепла.

До 2030 року варто розвинути 51 % економічно рентабельного ринку БГУ. Щороку виробництво електроенергії може складати 0,45 млрд кВт·год у 2020 році та 2,5 млрд кВт·год у 2030 році.

Приблизно дві третини обсягу біогазу отримують з кукурудзяного силосу, а решту третину – з відходів. Для вирощування необхідної кількості силосу з кукурудзи потрібно 0,15 млн. га орних земель, що становить 0,5 % їх загальної площі або 4,3 % площі вільних орних земель у 2011 році.

Використання тепла з міні-когенераційних установок у 2020 році становив 0,395 млн Гкал, а в 2030 році потенціал оцінюється близько 2,234 млн Гкал. До 2030 року буде створено 5200 нових робочих місць, відповідно викиди парникових газів зменшаться на 6 млн тонн на рік.

Оскільки виробництво біогазу в світі стрімко зростає, спостерігається тенденція до інтенсифікації існуючих технологій та пошуку нових сировинних матеріалів і технологій переробки для оптимального використання енергії біогазу.

У 2010 році в ЄС було вироблено 13,5 млрд кубометрів біогазу (еквівалент парникових газів). В 2020 році виробництво майже подвоїлось.

Розвиток біогазових технологій в Україні в майбутньому дозволить виробляти від 1,5 до 6 мільярдів кубометрів еквіваленту парникових газів на рік. Це стане важливим внеском у енергетичну незалежність країни.

Для інтенсивного розвитку виробництва біогазу та енергії з нього, необхідно поліпшити рамкові умови для цієї галузі. Найважливішим завданням є підвищення тарифу на екологічну електроенергію до 0,1616 євро за кВт·год для біогазу з сільськогосподарських відходів і до 0,1454 євро за кВт·год для інших видів біогазу. Завдяки активізації будівництва БГУ інвестиції в галузь до 2030 року можуть скласти щонайменше 15 млрд. грн.

1.2 Принцип дії біогазової установки

Робота БГУ основана на біологічному процесі ферментації та розкладу органічних речовин під впливом метаноутворюючих бактерій в анаеробних умовах. До цих умов відноситься: відсутність вільного кисню, висока вологість повітря, температура 15–20 °С для психофільних, 30–40 °С для мезофільних і 50–70 °С для термофільних бактерій [4].

Анаеробна ферментація відбувається в закритому резервуарі реакторі (метановому баку), який зазвичай має циліндричну форму і розташовується горизонтально або вертикально. Для ефективної ферментації в реакторі необхідно підтримувати постійну температуру згідно до обраного режиму ферментації (мезофільного або термофільного) і постійно перемішувати біомасу.

Слід зазначити, що мезофільний режим потребує меншого споживання тепла, але розкладання органічних речовин за такою температурою відбувається повільніше і неповно.

Термофільна ферментація сировини потребує більше тепла, має вищу швидкість розкладання і вищий вихід біогазу, а також є більш екологічною. Однак цей метод дещо складніший у реалізації та контролі.

Під час ферментації утворюється біогаз, який містить 40–70 % метану, 30–60 % вуглекислого газу, приблизно 1 % сірководню, а також кількість

азоту та водню. Питома теплота згоряння біогазу складає приблизно 22 МДж/м³.

Кількість біогазу, що утворюється в результаті цього процесу, який зазвичай відбувається при температурі 35–37 °С і перебування сировини в реакторі 10 днів, становить 30–70 м³ біогазу на тонну сировини за добу.

При відомій щоденній кількості свіжого гною виходить наступний щоденний вихід біогазу: 1 тонна гною ВРХ – 4050 м³ біогазу, 1 тонна гною свиней – 70–80 м³ біогазу, 1 тонна пташиного посліду – 60–70 м³ біогазу.

1.3 Конструкція біогазових установок

1.3.1 Реактор

Реактор може бути виготовлений із будівельних матеріалів, таких як цегла, камінь, бетон, а також з сталі.

а) циліндричний реактор із завантаженням зверху; б) циліндричний реактор із завантаженням знизу; в) циліндричний 2-х секційний реактор; г) похилий реактор; д) траншейний реактор із плавучою кришкою; е) горизонтальний сегментний реактор.

Рисунок 1.1 – Форми реакторів БГУ

Реактор можна встановити над землею на фундаменті, в землі або в приміщенні. Важливими є герметичність і корозійна стійкість. Він повинен мати люк, призначений технічного обслуговування та ремонту всередині. Між люком і корпусом повинна бути гумова прокладка або спеціальна ущільнювальна маса.

Розміри реактора визначаються індивідуально для кожного господарства і залежать від наявного поголів'я тварин. При цьому необхідно врахувати можливе збільшення поголів'я. Якщо точна щоденна кількість відходів невідома, для визначення необхідного об'єму реактора рекомендується використовувати дані таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Залежність об'єму реактора від кількості гною, отриманого від однієї тварини [5]

Види тварин		Об'єми реактора, м ³
ВРХ	Теля до року	0,45-0,75
	Теля віком від одного до двох років	1,05-1,75
	Теля старше двох років, корова	1,5-2,5
	Племінний бик	1,8-3,0
Свині	Порося до 12 кг	0,02-0,03
	Порося від 12 до 20 кг	0,03-0,05
	Порося від 20 до 45 кг	0,09-0,15
	Свиня 45-60 кг (відгодівля)	0,24-0,4
	Племінна свиня понад 60 кг	0,5-0,83
Коні	Жеребець і кінь до трьох років	1,05-1,75
	Кінь старше трьох років	1,65-2,75
Кури	Курча-бройлер, курча (1-а вікова група, вага до 1200 г)	0,004-0,006
	Курча-бройлер, курча (2-а вікова група, вага до 800 г)	0,002-0,004
	Курка-несучка (1, 2-ї категорії, вага 1500-1600 г)	0,005-0,008

Примітка. Менше значення об'єму метанового баку відповідає більш високій ефективності бродіння (більша температура), і навпаки.

Одним із основним критерієм при виборі конструкції метанового баку є практична реалізація, а також простота обслуговування та експлуатації.

У разі використання металевого резервуара достатнього розміру необхідно перевірити внутрішні та зовнішні стінки на наявність вм'ятин, якість зварних швів, отворів та інших пошкоджень і, за необхідності, відремонтувати їх. Після цього ці поверхні необхідно очистити та пофарбувати.

1.3.2 Механізм завантаження і вивантаження

Експлуатація БГУ включає щоденне завантаження сировини та вивантаження ферментованого гною.

Найпростішим методом завантаження та вивантаження є переливний процес. При завантаженні свіжого гною рівень сировини в реакторі підвищується, і через підключену переливну трубу така ж кількість ферментованої сировини вивантажується в збірний резервуар.

Щоб забезпечити герметичність реактора під час завантаження та розвантаження, вхідні та вихідні труби повинні бути розташовані під кутом до вертикалі, так що нижній кінець труби знаходиться нижче рівня рідини. Це створює гідравлічне ущільнення, яке запобігає проникненню повітря в метановий бак. Для рівномірного розподілу свіжої сировини по всьому об'єму метанового баку та ефективного видалення переробленого шламу труби для завантаження та вивантаження розташовані на протилежних сторонах метанового баку.

Подавана маса може містити досить великі тверді частинки, наприклад підстилковий матеріал (солома, тирса), стебла рослин та сторонні предмети.

Щоб уникнути засмічення труб, їх діаметр повинен становити не менше 300 мм. Подаюча труба має резервуар для попередньої підготовки сировини.

Ферментована маса під час подачі свіжої сировини автоматично виводиться з реактора через переливну трубу. З реактора ферментована маса потрапляє в спеціальний резервуар, який призначений для тимчасового зберігання переробленої сировини. Обидва резервуари можуть бути виготовлені з бетону або металу.

Іншим методом подачі є пневматична подача, при якій підготовлена сировина завантажується в реактор завдяки тиску біогазу.

1.3.3 Механізм підігріву сировини

Найпоширеніша система складається з опалювальної установки та бойлера для гарячої води, що працює на біогазі, електроенергії або твердому паливі (рис. 1.2). В якості нагрівальних елементів використовуються теплообмінники у вигляді спіралей, радіаторів або паралельно зварених труб. Гаряча вода з температурою приблизно 60 °С служить теплоносієм. Вищі температури збільшують ризик відкладення зважених речовин на поверхні теплообмінника.

Рекомендується розміщувати теплообмінники в зоні дії змішувача, щоб уникнути відкладення твердих речовин на зовнішній поверхні.

При встановленні системи опалення важливо забезпечити умови для природної циркуляції води в системі. Для цього необхідно забезпечити подачу гарячої води до верхньої точки системи і зворотний потік охолодженої води до нижньої точки.

На трубах опалення необхідно встановити клапани для випуску повітря у верхніх точках. Крім того, в систему опалення необхідно встановити розширювальний бак для компенсації змін об'єму води. Для регулювання

температури всередині реактора необхідно встановити термометр або термостат.

Рисунок 1.2 – Підігрів сировини водонагрівачем котлом

1.3.4 Механізм перемішування сировини

Змішування сировини в реакторі підвищує ефективність БГУ, запобігає відкладенню твердих частинок на теплообмінниках, на дні метанового баку, а також утворенню кірки на поверхні.

а, б - механічна мішалка; в, г - перемішування за допомогою насоса; д - перемішування біогазом і рідиною; е - перемішування біогазом.

Рисунок 1.3 – Способи перемішування сировини у вертикальних реакторах

Змішування може відбуватися безперервно або періодично, залежно від режиму роботи реактора. Можливості змішування для вертикальних і горизонтальних реакторів показані на рис. 1.3 і 1.4.

- а) перемішування біогазом
- б) перемішування механічними лапастими
- в) перемішування електродвигунами з механічними мішалками
- г) перемішування за допомогою насоса
- д) перемішування механічними мішалками від вітряного двигуна

Рисунок 1.4 – Способи перемішування сировини в горизонтальних метанових баків

Змішування можна звести до таких основних методів: механічні змішувачі, біогаз (який проходить через шар сировини) та перекачування сировини з верхньої зони в нижню. Робочими елементами механічних змішувачів є лопаті, шнеки та стрижні. Вони можуть приводитися в рух вручну, електрично або за допомогою пневматичного двигуна.

Механічні змішувачі з ручним приводом найпростіші у виготовленні та експлуатації, особливо в реакторах невеликих розмірів з низьким рівнем виробництва біогазу.

Вони складаються з горизонтально або вертикально встановленого в

реакторі валу, який проходить паралельно або коаксіально до центральної осі. Вал оснащений лопатями або іншими елементами зі спіральною поверхнею, які забезпечують транспортування сировини, збагаченої метановими бактеріями, від точки вивантаження до точки завантаження. Це збільшує швидкість утворення метану і скорочує час перебування сировини в реакторі.

Пропускання біогазу через товщу сировини дає хороші результати лише в тому випадку, якщо біогазова установка оснащена компресором, який закачує вироблений біогаз у газовий резервуар, з якого потім періодично частина стисненого біогазу подається для перемішування сировини в реакторі.

1.3.5 Система відбору біогазу

Система включає газорозподільні трубопроводи з запірними клапанами, конденсатовідвідник, запобіжний клапан, газовий накопичувач і газоспоживачі (плити, водонагрівачі, ДВЗ тощо).

Встановлення системи здійснюється тільки після введення реактора в експлуатацію.

Система повинна складатися зі сталевих труб з внутрішнім діаметром не менше 15 мм і зварних з'єднань. Для відключення газової системи при запуску реактора обов'язково необхідно встановити зворотний клапан.

Для відведення вологи, що накопичується в трубопроводах, використовується конденсатовідвідник, який встановлюється в найнижчій точці виходу газу з реактора. Біогаз, що утворюється в реакторі, містить багато водяної пари, яка може конденсуватися на стінках трубопроводів і призводити до їх засмічення.

а) газгольдер

б) кілька газгольдерів

Рисунок 1.5 – Збір і зберігання біогазу

Труба для відбору біогазу з метанового баку повинна знаходитися у верхній частині. Безпосередньо за сепаратором конденсату встановлюється запобіжний клапан у вигляді заповненого водою резервуара, який забезпечує в одному напрямку проходження газу.

Вхідний кінець трубопроводу поміщений у воду всередині резервуара, а вихідний кінець знаходиться над поверхнею води. Це запобігає проникненню навколишнього повітря через газову систему в метановий бак і запобігає зворотньому удару полум'я в системі розподілу газу.

Клапан повинен бути встановлений перед розгалуженням системи в напрямку потоку, щоб весь біогаз, що утворюється, протікав через клапан.

Метод зберігання біогазу залежить від призначення біогазу. При прямому спалюванні в пальниках котлів з внутрішнім згорянням великі газові резервуари не потрібні. В такому випадку вони служать для вирівнювання нерівномірної подачі газу і, таким чином, поліпшення умов згоряння.

У невеликих біогазових установках великі камери для автомобілів або тракторів можуть використовуватися як сховища біогазу. Для зберігання більших обсягів біогазу використовуються малі та середні сталеві циліндри, розраховані на тиск до 200 кг/см^2 , або інші ємності з достатньою товщиною стінок і міцністю. Газ закачується в ці сховища за допомогою компресора.

Для подачі біогазу споживачам трубопроводи повинні бути захищені

від пошкоджень. Для цього слід використовувати високоякісні оцинковані або поліетиленові труби і прокладати їх, по можливості, на глибині не менше 25 см під землею.

Щоб мінімізувати ризик витіку газу, слід уникати використання роз'ємних з'єднувальних елементів у трубопроводах. Витік газу можна перевірити за допомогою мильного розчину.

Газопровід повинен бути обладнаний запобіжним клапаном, який випускає біогаз в атмосферу, як тільки тиск перевищує 0,03–0,035 МПа (0,3–0,35 кг/см²).

Окрім зберігання біогазу в газовому резервуарі, надлишковий газ можна спалювати. Спалювання невикористаного газу запобігає забрудненню атмосфери метаном. Для цього можна використовувати простий факел, який встановлюється на достатній відстані від об'єктів і споруд, що підлягають спалюванню.

1.4 Схеми біогазових установок

БГУ (рис. 1.6) призначена для невеликих сільськогосподарських підприємств. Об'єм реактора становить від 3 до 10 м³ і розрахований на переробку 50–200 кг гною на добу. Установа потребує лише декількох компонентів для переробки гною та отримання біодобрив і біогазу. Вона може використовуватися в південних регіонах без опалення та перемішування і працює в психофільній температурній зоні від 5 °С до 20 °С. Вироблений біогаз використовується безпосередньо в газових приладах [4].

1 – метановий бак; 2 - завантажувальний бункер; 3 - люк для доступу в метановий бак; 4 - водяний затвор; 5 - труба вивантажувальна; 6 - відвід біогазу.

Рисунок 1.6 – Схема найпростішої БГУ з ручним завантаженням без перемішування і без підігріву сировини в метановому баку

Перероблена маса видаляється з метанового баку через вивантажувальну трубу в момент завантаження чергової порції сировини або за рахунок тиску біогазу. Зброджена маса, яка вивантажується, потрапляє в ємність для тимчасового зберігання, об'єм якої повинна бути не менший, ніж об'єм реактора.

Рисунок 1.7 – Схема простої БГУ з ручним завантаженням і перемішуванням сировини в реакторі 1 - метановий бак; 2 - завантажувальний бункер; 3 - пристрій перемішуючий; 4 - затвор водяний; 5 - труба вивантажувальна; 6 - відвід біогазу.

Встановлення цієї БГУ (рис. 1.7) також пов'язане з невеликими витратами. Для підвищення ефективності БГУ встановлено ручний змішувач для сировини. Установа працює в психрофільній режимі, без нагрівання сировини в метановому баку.

1 - водонагрівальний котел; 2 - бункер завантаження; 3 - пристрій перемішувач; 4 - метановий бак; 5 - затвор водяний; 6 - відвід біогазу; 7 - бункер вивантажувальний; 8 - ємність для зберігання біодобрих; 9 - труба вивантажувальна.

Рисунок 1.8 – Схема БГУ з ручним завантаженням, перемішуванням і підігрівом сировини в реакторі

Для більш інтенсивного та стабільного процесу ферментації встановлено систему нагрівання реактора (рис. 1.8). Установа може працювати в мезофільних та термофільних режимах.

Метановий бак БГУ нагрівається за допомогою водонагрівача, що працює на біогазі. Надлишок біогазу використовується безпосередньо в газовому обладнанні.

Проста установка з ручним завантаженням сировини в метановий бак обладнана автоматичним насосом для виробленого біогазу та газовим накопичувачем (рис. 9). Змішування сировини в метановому баку здійснюється за допомогою біогазу. Така БГУ може працювати в усіх

температурних діапазонах ферментації.

1 – котел водогрійний; 2 – завантажувальний бункер; 3 – метановий бак; 4 – шлюз гідравлічний; 5 – манометр електричний контактний; 6 – пристрій змішувальний; 7 – компресор; 8 – резервуар; 9 – бункер для вивантаження сировини; 10 – вивантаження сировини; 11 – зберігання біодобрив; 12 – зберігання газу; 13 – газовий редуктор.

Рисунок 1.9 – Схема простої БГУ з ручним подаванням, зберіганням газу, пневматичним змішуванням та нагріванням сировини в реакторі.

1 – бункер для завантаження сировини; 2 – котел водогрійний; 3 – метановий бак; 4 – клапан запобіжний; 5 – гідравлічний шлюз; 6 – електричний контактний манометр; 7 – компресор; 8 – резервуар; 9 – зберігання біодобрив; 10 – розвантаження сировини; 11 – труба для завантаження в транспортні засоби; 12 – зберігання газу; 13 – редуктор газовий; 14 – змішувальний пристрій.

Рисунок 1.10 – Схема сільськогосподарської біогазової установки зі зберіганням газу, ручною обробкою та пневматичною подачею, змішуванням та нагріванням сировини в метановому баку для малих та середніх фермерських господарств.

Конструкція цієї БГУ (рис. 1.10) дозволяє здійснювати ручну обробку

та пневматичне завантаження реактора сировиною. Частина виробленого біогазу призначена для нагріву сировини в метановому баку. Перемішування здійснюється за допомогою самого біогазу. Відбір біогазу відбувається автоматично. Сам. біогаз зберігається в газовому сховищі. БГУ може працювати в усіх режимах ферментації.

1 – бак для шламу; 2 – водогрійний котел; 3 – бункер завантажувальний; 4 – метановий бак; 5 – гідрошлюз; 6 – запобіжний клапан; 7 – манометр електричний контактний; 8 – компресор; 9 – газозмішувач; 10 – бак; 11 – зберігання біодобрих; 12 – труба для завантаження в транспортні засоби; 13 – зберігання газу; 14 – газовий редуктор.

Рисунок 1.11 – Схема сільськогосподарської біогазової установки зі зберіганням газу, механічною обробкою, пневматичною подачею, змішуванням та нагріванням сировини в метановому баку для середніх та великих ферм.

Особливість цієї БГУ (рис. 1.11) полягає в наявності спеціального резервуара для переробки сировини. Звідти сировина за допомогою вакуумного насоса подається в завантажувальний бункер, а потім у стисненому вигляді переміщується в реактор БГУ. Частина виробленого біогазу використовується для роботи системи опалення. Установа оснащена

автоматичною системою відбору проб біогазу та газовим сховищем. Завдяки системі опалення БГУ може функціонувати в усіх режимах ферментації.

1. 5 Висновки та напрямок дослідження

1. На основі аналітичних досліджень було визначено найважливіші технологічні етапи виробництва біогазу.

2. Було встановлено, що залежно від стану використовуваних сировинних матеріалів, їх технологічних параметрів, кількість і послідовність етапів можуть варіюватися в окремих випадках. Крім того, процес виробництва біогазу вимагає постійного і своєчасного контролю параметрів ферментації.

3. На кількість біогазу істотно впливають вологість, ступінь подрібнення та фізико-хімічні властивості сировини. Однак вартість і призначення залежать від дотримання кінцевим продуктом заданих параметрів якості.

4. Для забезпечення ефективності сільськогосподарських підприємств необхідна розробка та вдосконалення теоретичних, наукових і методичних підходів, а також практичних рекомендацій щодо моделювання БГУ.

2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Методологічні основи функціонування БГУ

Введення БГУ в експлуатацію може відбутися, як тільки установка в цілому та її компоненти будуть класифіковані як придатні для експлуатації відповідно до вимог безпеки.

Гній, що завантажується, повинен бути перевірений на свіжість та наявність твердих частинок.

Не рекомендується застосовувати для запуску установки гній, який зберігається більше 5 днів. Зі збільшенням терміну зберігання підвищується кислотність гною. Такі сировинні матеріали негативно впливають на процес ферментації, так як вони змінюють оптимальне співвідношення мікроорганізмів у реакторі і тим самим можуть порушити нормальний процес.

Тверді неорганічні компоненти (пісок, гравій, глина та цемент), призводять до утворення осаду, тоді як тверді рослинні залишки сприяють утворенню кірки. Це зменшує утворення газу і, отже, вихід біогазу.

Після перевірки гній завантажують у приймальний резервуар і розбавляють водою до вологості 92–95 % влітку і 85 % взимку. Розведення сировини водою здійснюється відповідно до таблиці 2.1. Після досягнення однорідності сировина завантажується в метановий бак, який повинен бути заповнений максимум на дві третини його внутрішнього об'єму. Інший простір використовується для накопичення біогазу.

Таблиця 2.1 – Кількість води, необхідна для досягнення вологості, на 100 кг гною [6]

Необхідна вологість	Початкова вологість сировини						
	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%
85%	166 літрів	133 літрів	100 літрів	67 літрів	33,5 літрів	-	-
92%	400 літрів	337 літрів	275 літрів	213 літрів	150 літрів	87,5 літрів	25 літрів

Початкова вологість гною ВРХ та свиней становить 65 %.

Сировина, що завантажується в реактор, не повинна бути холодною і повинна мати температуру, близьку до оптимальної температури ферментації.

Успішна робота БГУ залежить від наявності в метановому баку метаногенних мікроорганізмів, яких у свіжому гної великої рогатої худоби міститься велика кількість.

Для успішного процесу ферментації можна застосовувати різні відомі методи запуску:

- 1) додавання активної стартової культури з реактора, що працює в нормальному режимі;
- 2) додавання реагентів – вапно, вуглекислий газ, луг тощо;
- 3) заповнення реактора теплою водою з поступовим додаванням гною;
- 4) заповнення реактора свіжим гноєм;
- 5) заповнення реактора гарячим газом і поступове додавання гною.

Щоб забезпечити стабільне зростання мікроорганізмів під час пускової фази, нагрівання введених сировинних матеріалів має відбуватися поступово, максимум на 2–3 °С на день, до досягнення бажаної температури. Під час процесу нагрівання необхідно забезпечити інтенсивне перемішування сировинних матеріалів.

Через 7–8 днів у реакторі починається активна фаза мікроорганізмів. Початковий біогаз містить невелику кількість метану, тому горіння його нестабільне. З часом утворення метану збільшується, і біогаз горить інтенсивніше. У реактор завантажують не тільки відходи від великої рогатої худоби, а й відходи від свиней і птиці, а також фекалії.

Під час експлуатації біогазової установки велике значення мають щоденна кількість свіжого гною та частота його додавання. Кількість є змінною і залежить від виду сировини, температури ферментації та вмісту сухої речовини.

В установках, що працюють у термофільній режимі, щоденна кількість може становити до 20 % від загального обсягу внесеної сировини.

При мезофільній експлуатації невелика подача 1–5 % призводить до меншого виходу біогазу, ніж подача 10–20 %. Однак при високій подачі вміст метану в біогазі знижується, а вміст вуглекислого газу підвищується.

Тому оптимальна щоденна подача з точки зору теплової потужності отриманого біогазу в мезофільній експлуатації установки становить 6–10 %. Щоденна подача не повинна бути повною, а повинна вводитися в реактор рівними порціями 4–6 разів на день. Порція сировини, що подається, повинна бути нагріта, якщо це можливо.

При психрофільній роботі установки подача сировини при щоденному додаванні нової сировини повинна становити максимум 2 %. При неперервній подачі реактор відразу заповнюється на 2/3, і сировина переробляється протягом 40 днів або довше без додавання свіжого гною.

Ферментація є складним біохімічним процесом. Тому створення оптимальних умов для розвитку організмів, необхідних для метанової ферментації, є передумовою успішної роботи БГУ.

Різні штами бактерій мають різні оптимальні температури. Максимальна кількість біогазу досягається при температурі +23 °С для психрофільних бактерій, +35 °С для мезофільних бактерій і +55 °С для термофільних бактерій. Коливання температури протягом доби повинні становити максимум два градуси для психрофільної ферментації, максимум один градус для мезофільної ферментації і максимум 0,5 градуса для термофільної ферментації.

Тривалість ферментації сировини становить 30–40 днів і більше при психрофільній ферментації, 10–20 днів при мезофільній ферментації і 5–10 днів при термофільній ферментації.

Окрім підтримання оптимальної температури в реакторі, не менш важливим є перемішування сировини. Воно забезпечує рівномірний розподіл

субстрату та його постійний контакт з мікроорганізмами, а також вирівнює температуру в усьому об'ємі реактора. Це запобігає утворенню кірки на поверхні та осаду на дні. Хід ферментації можна оцінити за інтенсивністю утворення біогазу, а також за кольором ферментованої маси на виході з метанового баку. Відсутність або незначне утворення біогазу вказує на низьку активність мікроорганізмів і може бути визначено за сірим кольором ферментованих сировинних матеріалів. Причиною цього є недостатня кількість мікроорганізмів, що призводить до уповільнення процесу. Для відновлення процесу ферментації необхідно додати поживні розчини з високим потенціалом утворення газу.

Надлишок поживних речовин може призвести до утворення кислоти та зниження активності мікроорганізмів. У цьому випадку ферментована сировина чорніє, а на її поверхні може утворитися білий наліт. Метакислоти можна нейтралізувати додаванням рослинної золи або вапняного розчину.

Якщо ферментована маса має темно-коричневий колір і утворюється наліт, можна вважати, що процес ферментації проходить нормально.

2.2 Розробка технологічної схеми виробництва біогазу

На основі аналітичного огляду літературних джерел та дослідження елементів технології виробництва біогазу були визначені основні технологічні процеси виробництва за такою схемою: завантаження та транспортування гною, завантаження реактора гноєм, вивантаження біомаси з реактора та отримання біогазу.

Окрім зазначених технологічних допоміжних процесів, до них також належать змішування біомаси та подача води до реактора.

З урахуванням цих процесів ми розробляємо технологічну схему виробництва біогазу, яка представлена на рис. 2.1.

Рисунок 2.1 – Технологічна схема виробництва біогазу

2.3 Удосконалення механізму завантаження біогазової установки

Для ефективного завантаження біогазової установки ми розробляємо пневматичний шнековий транспортер (див. рис. 2.2).

Пневматичний шнек складається з рами 1 з електродвигуном 2, воронки 3 з шнеком 4, розташованим всередині неї, та пневматичної системи з перепускним клапаном 5, який підключений до центрального отвору шнека 4. Вал шнека закріплений через втулку 6 в підшипниках 7. Шнек 4 може переміщатися в осьовому напрямку у втулці 6 і утримується в напрямку транспортування матеріалу за допомогою тягової пружини 8. Фланцева шайба 9 закріплена на валу шнека і кінематично з'єднана з перепускним клапаном 5. Ремінна шестерня 10 ремінного приводу від електродвигуна 2 закріплена на втулці 6. Фланцева шайба 9 діє на зубчасту рейку 11, яка попередньо натягнута пружиною 12. Зубчаста рейка входить у зачеплення з зубчастою вінцем 13 перепускного клапана 5.

Пневматичний шнековий транспортер працює наступним чином:

Матеріал із воронки 3 потрапляє в шнековий транспортер 4, який виконує обертальний рух і транспортує біомасу при закритому перепускному клапані. При перевантаженні шнековий транспортер 4 переміщується вздовж маточини 6 у напрямку, протилежному до напрямку транспортування, завдяки спіральній поверхні.



Рисунок 2.2 – Шнековий пневматичний транспортер

У цьому випадку пружина 8 натягується, а фланцева шайба 9 взаємодіє з рейкою 11, яка стискається пружиною 12. Рейка входить у зачеплення з зубчастою короною 13 байпасного клапана 5, в результаті чого байпасний клапан 5 відкривається. Біогаз подається в отвір шнекового транспортера 4, що забезпечує подальше транспортування матеріалу.

Під час транспортування матеріалу осьовий тиск на шнековий транспортер 4 знижується, внаслідок чого він під дією тягової пружини 8 повертається у вихідне положення. Процес повторюється у зворотному порядку.

Запропонована конструкція пневматичного шнека транспортування забезпечує високу концентрацію біомаси на виході з головного конвеєра завдяки пульсуючій подачі матеріалу. Це підвищує продуктивність транспортування та зменшує питоме споживання енергії порівняно з існуючими конвеєрними системами.

2.4 Методика кінематичного аналізу біогазової установки

Для визначення оптимальних параметрів біогазової установки, а саме кута встановлення реактора, відстані механізму завантаження від основи реактора, кута встановлення механізму завантаження та його діаметра, ми проводимо кінематичний аналіз.

Аналітична кінематика механізмів базується на методі Зінов'єва. Згідно з цим методом, будь-який механізм, що складається із замкнутого кінематичного ланцюга з парами ланок, можна представити як замкнене векторне коло або систему замкнутих векторних кіл, замінивши ланки механізму векторами [12, 13].

Вигідно вибрати фіксовану точку як початкову точку векторного кола. Кожен вектор має початкову та кінцеву пару, що охоплюють ланки. Величина вектора може бути постійною або змінною. Напрямок кожного

вектора визначається кутом, виміряним проти годинникової стрілки від лінії, паралельної осі x обраної системи координат і проведеної через початкову точку відповідного вектора. Знак вектора додатний, якщо його напрямок збігається з напрямком контуру за годинниковою стрілкою.

Якщо рівняння мають більше трьох компонентів, допоміжні вектори необхідно ввести, розбивши векторні полігони на трикутники. Це суттєво спрощує розв'язання задачі.

Векторні рівняння представляють у вигляді проекцій на систему координат або в інших формах [14, 15].

На кінематичній схемі БГУ (рис. 2.3) показано: a – довжину реактора; h – висоту реактора; b – ширину реактора (не показано); d – діаметр механізму завантаження; c – відстань механізму завантаження відносно основи реактора; φ_1 – кут нахилу механізму завантаження; φ_2 – кут нахилу реактора; e – довжину з'єднання між механізмом завантаження та реактором; f, k, l, n, m, r, p – змінні довжини векторів; $\varphi_3, \varphi_4, \varphi_5$ – змінні кути між векторами. А, В, С, D, E, F, G, H – кінематичні пари.

На рис 2.4 показаний кулісний механізм, який складається з механізму завантаження з діаметром (d) та боковою стінкою реактора.

Для розрахунку довжини з'єднання (e) складаємо векторне рівняння для контуру $EDFE$.

$$\bar{e} + \bar{f} = \bar{d} \quad (2.1)$$

Проектуємо рівняння (2.1) на вісь x і y та отримуємо

$$e \cdot \cos \varphi + f \cdot \cos \varphi = d \cdot \sin \varphi \quad (2.2)$$

$$e \cdot \sin \varphi + f \cdot \sin \varphi = d \cdot \cos \varphi \quad (2.3)$$

Із рівняння (2.3) отримуємо довжину з'єднання e

$$e = \frac{d \cdot \cos \varphi - f \cdot \sin \varphi}{\sin \varphi} \quad (2.4)$$

Рисунок 2.3 – Кінематична схема реактора БГУ з механізмом завантаження

Рисунок 2.4 – Схема кулісного механізму з механізмом завантаження і стінкою реактора

На рис.2.5 зображено положення реактора відносно горизонтальної вісі. Основа реактора розташована під кутом φ_2 до горизонту.

Розглянемо контур ABC, для якого складаємо векторне рівняння

$$\bar{a} - \bar{k} + \bar{l} = 0 \quad (2.5)$$

Проектуємо векторне рівняння (2.5) на вісі Ax і Ay , отримаємо

$$a \cdot \cos \varphi_2 - k \cdot \sin \varphi_2 + l = 0 \quad (2.6)$$

$$a \cdot \sin \varphi_2 - k \cdot \cos \varphi_2 = 0 \quad (2.7)$$

Із рівняння (2.7) визначаємо k

$$k = \frac{a \cdot \sin \varphi_2}{\cos \varphi_2} = a \cdot \operatorname{tg} \varphi_2 \quad (2.8)$$

Із рівняння (2.6) знаходимо l

Рисунок 2.5 – Схема положення реактора БГУ відносно горизонтальної вісі

$$l = k \cdot \sin \varphi_2 - a \cdot \cos \varphi_2 \quad (2.9)$$

З врахуванням рівняння (2.8) рівняння (2.9) матиме вигляд

$$l = a \cdot \operatorname{tg} \varphi_2 \cdot \sin \varphi_2 - a \cdot \cos \varphi_2 \quad (2.10)$$

Вектор m визначаємо із трикутника ABE за теоремою косинусів

$$m = \sqrt{l^2 + n^2 - 2 \cdot l \cdot n \cdot \cos \varphi_3} \quad (2.11)$$

Так як $\varphi_3 = 90^\circ - \varphi_2$, а вектор n дорівнює сумі векторів e , c і k , підставляємо в формулу (2.11) відповідно формули (2.4), (2.8) і (2.10).

$$m = \left(\begin{array}{l} \left(a \cdot \operatorname{tg} \varphi_2 \cdot \sin \varphi_2 - a \cdot \cos \varphi_2 \right)^2 + \left(\frac{d \cdot \cos \varphi_1 - f \cdot \sin \varphi_1}{\sin \varphi_1} + c + a \cdot \operatorname{tg} \varphi_2 \right)^2 - \\ - 2 \cdot \left(a \cdot \operatorname{tg} \varphi_2 \cdot \sin \varphi_2 - a \cdot \cos \varphi_2 \right) \cdot \left(\frac{d \cdot \cos \varphi_1 - f \cdot \sin \varphi_1}{\sin \varphi_1} + c + a \cdot \operatorname{tg} \varphi_2 \right) \cdot \\ \cdot \cos(90^\circ - \varphi_2) \end{array} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.12)$$

Кут φ_4 між векторами a і m визначаємо із трикутника AEC

$$\varphi_4 = \operatorname{arctg} \left(\frac{c + e}{a} \right) \quad (2.13)$$

З врахуванням рівняння (2.4) формула (2.13) матиме вигляд

$$\varphi_4 = \operatorname{arctg} \left(\frac{c + \left(\frac{d \cdot \cos \varphi_1 - f \cdot \sin \varphi_1}{\sin \varphi_1} \right)}{a} \right) \quad (2.14)$$

Кут нахилу вектора m до вісі Ax буде рівний

$$\varphi_5 = 90^\circ - \varphi_2 - \varphi_4 \quad (2.15)$$

Вектор r визначаємо з трикутника AEG

$$r = m \cdot \cos \varphi_5 \quad (2.16)$$

Із врахуванням рівнянь (2.14) і (2.15), рівняння (2.16) матиме вигляд

$$r = m \cdot \cos \left(90^\circ - \varphi_2 - \arctg \left(\frac{c + \left(\frac{d \cdot \cos \varphi_1 - f \cdot \sin \varphi_1}{\sin \varphi_1} \right)}{a} \right) \right) \quad (2.17)$$

Вектор p визначаємо з трикутника AGH

$$p = \frac{r}{\cos \varphi_2} \quad (2.18)$$

З урахуванням рівняння (2.17) запишемо рівняння (2.18) у вигляді

$$p = \frac{m \cdot \cos \left(90^\circ - \varphi_2 - \arctg \left(\frac{c + \left(\frac{d \cdot \cos \varphi_1 - f \cdot \sin \varphi_1}{\sin \varphi_1} \right)}{a} \right) \right)}{\cos \varphi_2} \quad (2.19)$$

Таким чином, було визначено аналітичні залежності, які описують положення БГУ як функцію кута встановлення реактора, відстані завантажувального пристрою відносно основи реактора, кута завантажувального пристрою та його діаметра, а також геометричних параметрів реактора.

2.5 Методика визначення ефективності використання об'єму реактора біогазової установки

Для визначення ефективності використання об'єму реактора БГУ використаємо такий показник, як коефіцієнт заповнення. Цим показником користуються при визначенні ефективності перевезення вантажів [16-19].

Визначаємо коефіцієнт заповнення за формулою

$$q = \frac{V_{\text{бм}}}{V_p}, \quad (2.20)$$

де $V_{\text{бм}}$ – об'єм біомаси в реакторі, м³;

V_p – об'єм реактора, м³.

Об'єм реактора визначаємо за формулою:

$$V_p = a \cdot b \cdot h, \quad (2.21)$$

де a – довжина реактора, м;

h – висота реактора, м;

b – ширина реактора, м.

Об'єм біомаси в реакторі визначаємо за формулою:

$$V_{\text{бм}} = \left(\frac{(c+e+p)}{2} \cdot a \right) \cdot b, \quad (2.22)$$

де c – відстань встановлення механізму завантаження відносно основи реактора, м;

e – довжина з'єднання механізму завантаження з реактором, м;

p – вектор змінної довжини, м.

Довжини векторів e , p визначаємо відповідно з формул (2.4) і (2.19).

2.6 Висновки по розділу

1. Запропоновано технологічну схему виробництва біогазу з рослинної біомаси сільськогосподарських культур за наступною схемою: навантаження та транспортування гною, завантаження гною в реактор, вивантаження біомаси з реактора та відбір біогазу, перемішування біомаси та подача води в реактор.

2. Удосконалено пневматичний шнековий транспортер для завантаження гною в реактор.

3. Було визначено аналітичні залежності, що описують положення БГУ як функцію кута встановлення реактора, відстані завантажувального пристрою відносно основи реактора, кута встановлення та діаметра завантажувального пристрою, а також габаритних розмірів реактора.

4. Для об'єктивної оцінки ефективності використання об'єму реактора БГУ використовується коефіцієнт заповнення, який залежить від кінематики реактора.

3 РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Розрахунок кінематики біогазової установки

Для визначення раціональних параметрів БГУ, а саме: кута нахилу реактора, відстані встановлення механізму завантаження відносно основи реактора, кута нахилу механізму завантаження та його діаметра, проводимо розрахунок кінематики.

Для прикладу приведений розрахунок, де вихідними даними є:

довжина реактора (a) – 5 м;

ширина реактора (b) – 2,5 м;

висота реактора (h) – 2 м;

діаметр механізму завантаження (d) – 0,3 м;

відстань встановлення механізму завантаження відносно основи реактора (c) – 1,0 м;

кут нахилу механізму завантаження (φ_1) – 60 град;

кут встановлення реактора (φ_2) – 5 град.

Розраховуємо довжину з'єднання e із рівняння (2.4)

$$e = \frac{0,3 \cdot \cos 60^\circ - 0,173 \cdot \sin 60^\circ}{\sin 60^\circ} = 0,3464 \text{ м.}$$

Із рівняння (2.8) визначаємо k

$$k = \frac{a \cdot \sin \varphi_2}{\cos \varphi_2} = a \cdot \operatorname{tg} \varphi_2 = 5 \cdot \operatorname{tg} 5^\circ = 0,4374 \text{ м.}$$

Із рівняння (2.10) визначаємо l

$$l = a \cdot \operatorname{tg} \varphi_2 \cdot \sin \varphi_2 - a \cdot \cos \varphi_2 = 5 \cdot \operatorname{tg} 5^\circ \cdot \sin 5^\circ - 5 \cdot \cos 5^\circ = 5,019 \text{ м.}$$

Вектор n дорівнює сумі векторів e , c і k , тому

$$n = 0,3464 + 1,0 + 0,4274 = 1,7838 \text{ м.}$$

Так як $\varphi_3 = 90^\circ - \varphi_2$, то

$$\varphi_3 = 90^\circ - 5^\circ = 85^\circ.$$

Вектор m визначаємо із трикутника ABE за теоремою косинусів по формулі (2.11)

$$m = \sqrt{5,019^2 + 1,7838^2 - 2 \cdot 5,019 \cdot 1,7838 \cdot \cos 85^\circ} = 5,1781 \text{ м.}$$

Кут φ_4 між векторами a і m визначаємо із трикутника AEC по формулі (2.13)

$$\varphi_4 = \arctg\left(\frac{c+e}{a}\right) = \arctg\left(\frac{1,0+0,3464}{5}\right) = 15,07^\circ.$$

Кут нахилу φ_5 вектора m до вісі Ax буде рівний

$$\varphi_5 = 90^\circ - \varphi_2 - \varphi_4 = 90^\circ - 5^\circ - 15,07^\circ = 69,93^\circ.$$

Вектор r визначаємо з формули (2.16)

$$r = m \cdot \cos \varphi_5 = 5,1781 \cdot \cos 69,93^\circ = 1,777 \text{ м.}$$

Вектор p визначаємо з з формули (2.18)

$$p = \frac{r}{\cos \varphi_2} = \frac{1,777}{\cos 5^\circ} = 17,7838 \text{ м.}$$

По приведеній методиці отримання аналітичних залежностей, які описують положення БГУ в залежності від кута нахилу реактора, відстані встановлення механізму завантаження відносно основи реактора, кута нахилу механізму завантаження та його діаметра, а також від геометричних параметрів реактора, розробляємо математичну модель в середовищі Microsoft Office Excel 2016. Приклад розрахунку наведений в додатку А.

3.2 Визначення ефективності заповнення реактора БГУ

Для визначення ефективності використання об'єму БГУ визначаємо коефіцієнт заповнення.

Для цього розраховуємо об'єм реактора за формулою (2.21)

$$V_p = 5 \cdot 2,5 \cdot 2 = 25 \text{ м}^3.$$

Об'єм біомаси в реакторі визначаємо за формулою (2.22)

$$V_{\text{біом}} = \left(\frac{(1,0 + 0,3464 + 1,7838)}{2} \cdot 5 \right) \cdot 2,5 = 19,56 \text{ м}^3.$$

Визначаємо коефіцієнт заповнення за формулою (2.20)

$$q = \frac{19,56}{25} = 0,782$$

Для визначення коефіцієнта використання об'єму розробляємо математичну модель в середовищі Microsoft Office Excel 2016. Приклад розрахунку наведений в додатку А.

3.3 Розрахунок кінематики та визначення коефіцієнта заповнення реактора

Згідно методики, описаної в розділі 2.4 і 2.5, проводимо розрахунок кінематики та визначення коефіцієнта використання об'єму реактора.

Визначаємо кінематику і залежність коефіцієнта заповнення реактора від відстані встановлення механізму завантаження відносно основи реактора.

Вихідними даними для розрахунку є:

довжина реактора (a) – 5 м;

ширина реактора (b) – 2,5 м;

висота реактора (h) – 2 м;

діаметр механізму завантаження (d) – 0,3 м;

відстань встановлення механізму завантаження відносно основи реактора (c) – 0,8 м; 0,9 м; 1,0 м; 1,1 м; 1,2 м.

кут нахилу механізму завантаження (φ_1) – 60 град;

кут встановлення реактора (φ_2) – 5 град.

Результати розрахунку кінематики представлені в додатку Б, а визначення коефіцієнта заповнення реактора наведені в таблиці 3.1 та відображено на рис. 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати визначення коефіцієнта заповнення реактора в залежності від відстані встановлення механізму завантаження відносно основи реактора

Назва показника	Відстань встановлення механізму завантаження відносно основи реактора, м				
	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
Об'єм біомаси, м ³	17,06	18,31	19,56	20,81	22,06
Об'єм реактора, м ³	25	25	25	25	25
Коефіцієнт використання об'єму реактора	0,68	0,73	0,78	0,83	0,88

Рисунок 3.1 – Залежність коефіцієнта заповнення реактора від відстані встановлення механізму завантаження відносно основи реактора

Як видно із рис. 3.1, коефіцієнт заповнення реактора збільшується прямо пропорційно від відстані встановлення механізму завантаження відносно основи реактора. При цьому збільшення відстані всього на 0,4 м призводить до збільшення коефіцієнта заповнення реактора на 20%.

Визначаємо кінематику і залежність коефіцієнта заповнення реактора від діаметра механізму завантаження.

Вихідними даними для розрахунку є:

довжина реактора (a) – 5 м;

ширина реактора (b) – 2,5 м;

висота реактора (h) – 2 м;

діаметр механізму завантаження (d) – 0,2 м; 0,25 м; 0,3 м; 0,35 м; 0,4 м;

відстань встановлення механізму завантаження відносно основи реактора (c) – 1,0 м;

кут нахилу механізму завантаження (φ_1) – 60 град;

кут встановлення реактора (φ_2) – 5 град.

Результати розрахунку кінематики представлені в додатку В, а визначення коефіцієнта заповнення реактора наведені в таблиці 3.2 та відображено на рис. 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати визначення коефіцієнта заповнення реактора в залежності від діаметра механізму завантаження

Назва показника	Діаметр механізму завантаження, м				
	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4
Об'єм біомаси, м ³	18,12	18,84	19,56	20,29	21,01
Об'єм реактора, м ³	25	25	25	25	25
Коефіцієнт заповнення реактора	0,72	0,75	0,78	0,81	0,84

Рисунок 3.2 – Залежність коефіцієнта використання об'єму реактора від діаметра механізму завантаження

Як видно із рис. 3.2, коефіцієнт заповнення реактора збільшується прямо пропорційно залежно від діаметра механізму завантаження. При цьому збільшення діаметра з 0,2 м до 0,4 м призводить до збільшення коефіцієнта заповнення реактора на 12%.

Визначаємо кінематику і залежність коефіцієнта заповнення реактора від кута нахилу механізму завантаження (φ_1).

Вихідними даними для розрахунку є:

довжина реактора (a) – 5 м;

ширина реактора (b) – 2,5 м;

висота реактора (h) – 2 м;

діаметр механізму завантаження (d) – 0,3 м;

відстань встановлення механізму завантаження відносно основи реактора (c) – 1,0 м;

кут нахилу механізму завантаження (φ_1) – 45, 50, 55, 60, 65 град;

кут нахилу реактора (φ_2) – 5 град.

Результати розрахунку кінематики представлені в додатку Г, а визначення коефіцієнта заповнення реактора наведені в таблиці 3.3 та відображено на рис. 3.3.

Таблиця 3.3 – Результати визначення коефіцієнта заповнення реактора в залежності від кута нахилу механізму завантаження

Назва показника	Кут встановлення механізму завантаження, град				
	45	50	55	60	65
Об'єм біомаси, м ³	20,54	20,13	19,81	19,56	19,37
Об'єм реактора, м ³	25	25	25	25	25
Коефіцієнт заповнення реактора	0,82	0,81	0,79	0,78	0,77

Рисунок 3.3 – Залежність коефіцієнта заповнення реактора від кута нахилу механізму завантаження

Як видно із рис. 3.3, коефіцієнт заповнення реактора зменшується залежно від кута нахилу механізму завантаження. При збільшенні кута з 45° до 65° коефіцієнт заповнення реактора зменшується з 0,82 до 0,77.

Визначаємо кінематику і залежність коефіцієнта заповнення реактора від кута нахилу реактора (φ_2).

Вихідними даними для розрахунку є:

довжина реактора (a) – 5 м;

ширина реактора (b) – 2,5 м;

висота реактора (h) – 2 м;

діаметр механізму завантаження (d) – 0,3 м;

відстань встановлення механізму завантаження відносно основи реактора (c) – 1,0 м;

кут нахилу механізму завантаження (φ_1) – 60 град;

кут нахилу реактора (φ_2) – 3, 4, 5, 6, 7 град.

Результати розрахунку кінематики представлені в додатку Д, а визначення коефіцієнта заповнення реактора наведені в таблиці 3.4 та відображено на рис. 3.4.

Таблиця 3.4 – Результати визначення коефіцієнта заповнення реактора в залежності від кута нахилу реактора

Назва показника	Кут встановлення реактора, град				
	3	4	5	6	7
Об'єм біомаси, м ³	18,47	19,02	19,56	20,11	20,67
Об'єм реактора, м ³	25	25	25	25	25
Коефіцієнт заповнення реактора	0,74	0,76	0,78	0,80	0,83

Рисунок 3.4 – Залежність коефіцієнта використання об'єму реактора від кута встановлення реактора

Як видно із рис. 3.4, коефіцієнт використання об'єму реактора збільшується прямо пропорційно залежно від кута встановлення реактора. При цьому збільшення кута з 3° м до 7° призводить до збільшення коефіцієнта використання об'єму реактора на 9%.

3.4 Висновки по розділу

1. У Microsoft Office Excel 2016 було розроблено математичну модель для розрахунку кінематики та визначення коефіцієнта заповнення реактора. Змінними параметрами в моделі є діаметр завантажувального механізму, відстань від завантажувального механізму до основи реактора, кут нахилу завантажувального механізму та кут нахилу реактора.

2. Коефіцієнт заповнення реактора зростає пропорційно відстані завантажувального механізму до основи реактора. Збільшення відстані лише на 0,4 м призводить до зростання коефіцієнта заповнення реактора на 20 %.

3. Коефіцієнт заповнення реактора зростає пропорційно до діаметра завантажувального механізму. Збільшення діаметра з 0,2 м до 0,4 м призводить до зростання коефіцієнта заповнення реактора на 12 %.

4. Коефіцієнт заповнення реактора знижується із збільшенням кута нахилу завантажувального механізму. При збільшенні кута з 45° до 65° коефіцієнт заповнення реактора знижується з 0,82 до 0,77.

5. Коефіцієнт заповнення реактора зростає пропорційно до кута установки реактора. У цьому випадку збільшення кута з 30° до 70° призводить до збільшення коефіцієнта заповнення реактора на 9 %.

4 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РОЗРОБОК

4.1 Екологічна експертиза

Охорона навколишнього середовища, раціональне використання природних ресурсів, забезпечення екологічної безпеки та життя людини є невід'ємною складовою суспільного розвитку України. З цією метою Україна проводить на своїй території екологічну політику, спрямовану на збереження безпечного навколишнього середовища для живої та неживої природи, захист життя і здоров'я населення від небезпек, пов'язаних із забрудненням навколишнього середовища, та забезпечення раціонального використання природних ресурсів [20].

Верховна Рада України 25 червня 1991 року прийняла Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища». Цим законом передбачено обов'язкове проведення екологічної експертизи в рамках законодавчої, економічної, адміністративної та іншої діяльності, що впливає на стан природного середовища, а також документацію при розробці нових установок, технологій, матеріалів тощо.

Закон України «Про екологічну експертизу» був прийнятий Верховною Радою 9 лютого 1995 року.

Екологічна експертиза в Україні – це наукова та практична діяльність спеціально уповноважених державних органів, екологічних експертних організацій та громадських об'єднань. Вона базується на міждисциплінарних екологічних дослідженнях, аналізі та оцінці попередніх проектів, планів та інших матеріалів і об'єктів, реалізація та експлуатація яких можуть вплинути на навколишнє середовище та здоров'я людини. Метою є підготовка висновків щодо відповідності запланованих або реалізованих заходів нормам і вимогам законодавства про охорону навколишнього середовища, раціональне використання та збереження природних ресурсів, а також

забезпечення екологічної безпеки.

Законодавство про екологічну експертизу регулює діяльність у цій сфері з метою забезпечення екологічної безпеки, охорони навколишнього середовища, раціонального використання та збереження природних ресурсів, а також захисту екологічних прав та інтересів громадян і держави.

Метою екологічної експертизи є запобігання негативному впливу людської діяльності на навколишнє середовище та здоров'я, а також оцінка екологічної сумісності економічної діяльності та екологічної ситуації окремих територій та об'єктів [21].

В основними завдання екологічної експертизи входить:

- 1) визначення екологічного ризику та екологічної безпеки запланованих або поточних видів діяльності;
- 2) проведення комплексної, науково обґрунтованої оцінки об'єктів, що підлягають оцінці;
- 3) встановлення відповідності об'єктів, що підлягають оцінці, вимогам екологічного законодавства, санітарних норм, будівельних норм та відповідних постанов;
- 4) оцінка впливу діяльності об'єктів, що підлягають оцінці, на навколишнє середовище, здоров'я та якість природних ресурсів;
- 5) оцінка ефективності, повноти, дійсності та адекватності заходів щодо захисту навколишнього середовища та здоров'я;
- 6) формування об'єктивних, всебічно обґрунтованих висновків екологічної експертизи.

Основними принципами екологічної експертизи є:

- 1) забезпечення безпечного для людини та здоров'я навколишнього середовища;
- 2) збалансування екологічних, економічних, медико-біологічних та соціальних інтересів з урахуванням громадської думки;
- 3) наукова обґрунтованість, незалежність, об'єктивність, всебічність,

варіативність та прозорість;

4) екологічна безпека, а також територіальна, галузева та економічна здійсненність заходів, що досліджуються, плануються або реалізуються в екологічній експертизі;

5) державне регулювання;

6) законність.

В Україні проводяться державні, громадські та інші екологічні експертизи [22].

Результати державних екологічних експертиз є обов'язковими для виконання. При прийнятті рішень щодо подальшого впровадження заходів, що досліджуються в екологічній експертизі, результати державних екологічних експертиз враховуються нарівні з іншими державними експертизами.

Результати громадських та інших екологічних експертиз мають рекомендаційний характер і можуть враховуватися як при проведенні державних екологічних експертиз, так і при прийнятті рішень щодо подальшого впровадження заходів, що досліджуються в екологічній експертизі.

Для поліпшення якості повітря необхідні заходи, які дозволять скоротити загальний обсяг викидів автомобілів більш ніж на 40 відсотків і запобігти викидам свинцю. Для цього плануються такі заходи:

– вдосконалення законодавчих положень щодо сприяння заходам з охорони навколишнього середовища;

– оснащення нових транспортних засобів ефективними системами та пристроями для зменшення викидів (каталізатори, автоматичні системи запуску та попереднього прогрівання, системи рекуперації паливних парів);

– збільшення частки легкових автомобілів та автобусів з газовим приводом; припинення виробництва та використання етилбензину; виробництво палива та мастильних матеріалів з меншим впливом на

навколишнє середовище від двигунів внутрішнього згорання;

– розробка та використання нових, більш економічних двигунів внутрішнього згорання; розробка нових, екологічно чистих транспортних засобів з альтернативними приводами.

Для вирішення екологічних проблем у сфері автомобільного транспорту необхідно:

– надати пріоритет розбудові системи міського громадського транспорту з електричною тягою в українських містах, одночасно скорочуючи автобусний транспорт;

– посилити екологічні стандарти для конструювання нових моделей легкових автомобілів і двигунів;

– розробка та впровадження системи сертифікації легкових автомобілів і двигунів на екологічну безпеку та контроль дотримання сертифікатів;

– розробка технологій, методів і технічних засобів оцінки екологічної безпеки легкових автомобілів в експлуатації;

– розробка технологій і технічних засобів оцінки та захисту навколишнього середовища від забруднення в виробничих зонах автомобільних підприємств.

Основні переваги використання біогазу [23]:

1. Чиста енергія.
2. Вартість виробництва електроенергії та тепла в біогазових установках порівнянна з вартістю традиційних джерел енергії.
3. Диверсифікація енергопостачання.
4. Зменшення викидів CO₂ завдяки частковій відмові від спалювання вугілля.
5. Децентралізація виробництва енергії.
6. Поліпшення гігієнічних та санітарних умов у селах.
7. Зменшення використання штучних добрив за рахунок використання природного гною.

8. Підвищення ефективності екологічного виробництва продуктів харчування.

9. Створення нових робочих місць та збільшення врожайності сільськогосподарських культур.

Недоліки технології та проблеми виробництва біогазу:

1. Високі витрати на встановлення.

2. Необхідність точного дотримання технологічних вимог у процесі ферментації.

3. Неоднорідні правові та адміністративні положення щодо отримання сертифікатів для «зелених», «червоних» та «жовтих» біогазових установок, а також щодо фінансування чистої теплової енергії.

4. Складні процедури отримання дозволів на будівництво біогазових установок.

5. Відсутність комплексних правових рішень для партнерств публічного права (муніципальні ради, громадяни, підприємці).

6. Низький рівень обізнаності населення про використання відновлюваних джерел енергії.

7. Недостатня інформація в ЗМІ про технічні, формальні, правові та фінансові аспекти біогазових установок.

4.2 Охорона праці

4.2.1 Значення охорони праці

Праця є основою життя і добробуту суспільства, джерелом внутрішнього розвитку духовних якостей людини. Вона є найважливішою передумовою існування, розвитку і прогресу суспільства.

Охороною праці називають систему правових, соціально-економічних, технічних і організаційних заходів, спрямованих на забезпечення безпеки,

здоров'я і працездатності працівників під час виконання ними трудових обов'язків.

Положення стосовно охорони праці в Україні визначені та регулюються в Основному законі Конституції України, Трудовому кодексі, Законі України «Про охорону праці», а також у нормативних актах, що базуються на них (указах Президента, постановах Уряду, правилах, нормах, інструкціях, стандартах та інших документах) [24]. Основою політики України в галузі охорони праці є Закон «Про охорону праці» від 14 жовтня 1992 року, з останніми змінами від 21 листопада 2002 року.

Основними принципами зазначених законів є [25]:

- пріоритет життя і здоров'я працівників над результатами виробничої діяльності підприємства; повна відповідальність роботодавця за створення безпечних і нешкідливих для здоров'я умов праці;
- соціальний захист працівників; повна компенсація шкоди, включаючи моральну шкоду, особам, які зазнали шкоди внаслідок нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань;
- встановлення єдиних стандартів охорони праці для всіх підприємств, незалежно від форми власності та виду діяльності; просвіта населення, професійна підготовка та підвищення кваліфікації працівників з питань охорони праці;
- участь держави у фінансуванні заходів з охорони праці;
- використання міжнародного досвіду в організації праці для поліпшення умов праці та безпеки.

У лютому 1993 року Верховна Рада України ухвалила Закон «Про цивільний захист України». Цей закон гарантує громадянам України право захищати своє життя та здоров'я від наслідків аварій, катастроф, великих пожеж та стихійних лих, а також отримувати гарантії від уряду України, інших органів державної виконавчої влади та керівництва підприємств,

установ та організацій – незалежно від їхньої форми власності чи структури управління – щодо виконання цього закону.

Згідно з українським законодавством, посадові особи та громадяни несуть відповідальність за порушення законодавства про цивільний захист. Тому метою цього дослідження є оцінка стабільності роботи цеху в складі об'єкта, де поводяться з небезпечними хімічними речовинами.

В економіці України є широкий спектр хімічних речовин, які є токсичними та шкідливими для здоров'я.

В магістерській роботі досліджується використання біогазу, який є альтернативним паливом. Тому всі питання, розглянуті в даному розділі, присвячені біогазу і лабораторії, в якій він досліджується.

4.2.2 Вимоги безпеки при роботі з біогазом

Під час експлуатації БГУ необхідно дотримуватися наступних пунктів:

Вдихання великої кількості біогазу протягом тривалого періоду може призвести до отруєння, оскільки сірководень, який він містить, є дуже токсичним. Неочищений біогаз має запах тухлих яйць; після очищення він не має запаху. Тому всі приміщення, де працюють побутові прилади з біогазом, необхідно регулярно провітрювати. Газопроводи необхідно регулярно перевіряти на герметичність та захищати від пошкоджень. Витік газу можна виявляти лише за допомогою мильної води або спеціальних пристроїв для виявлення витоків. Використання відкритого вогню для виявлення витоків заборонено.

Біогаз, змішаний з повітрям у співвідношенні 5% до 15%, може вибухнути у присутності джерела займання з температурою 600°C або вище. Відкритий вогонь небезпечний, коли концентрація біогазу в повітрі перевищує 12%. Тому куріння та розведення відкритого вогню поблизу установки заборонено. Під час зварювання необхідно дотримуватися

мінімальної відстані 10 метрів від газових установок. Після вилучення сировини з біогазових установок для ремонтних цілей реактор необхідно провентилювати через ризик вибуху від суміші біогазу та повітря. Тиск газу в газопроводі до місця використання не повинен перевищувати 0,15 МПа (1,5 кг/см²) та 0,13 кг/см² перед газовими приладами. Реактор повинен бути оснащений клапанами та гідравлічними запірними клапанами, які можуть ізолювати його від основного газопроводу у разі надлишкового тиску.

Усе використовуване електрообладнання має бути заземленим. Опір заземлювального провідника не повинен перевищувати 4,00 мОм.

Основними джерелами гігієнічних небезпек є яйця глистів, бактерії кишкової палички та інші патогенні мікроорганізми в рідкому гної та гнійних стічних водах. Тому необхідні запобіжні заходи для запобігання інфекціям. З цієї причини не рекомендується вживати їжу на території та поблизу біогазових установок.

Реактор та сховище біодобрих повинні бути побудовані таким чином, щоб виключити ризик падіння в них.

У разі аварійного витоку газу в приміщенні необхідно використовувати протигази марок А і БКФ по ГОСТ 12.4.121.

При роботі з паливом необхідно використовувати індивідуальні засоби захисту, передбачені типовими галузевими нормами, затвердженими в установленому порядку: костюми по ГОСТ 12.4.112 або ГОСТ 12.4.111, черевики по ГОСТ 12.4.137, рукавиці по ГОСТ 12.4.010, захисні окуляри типу ЗН по ГОСТ 12.4.013, фартухи по ГОСТ 12.4.029.

Приміщення, де проводяться роботи з паливом, повинні, бути обладнані приточно-витяжною вентиляцією згідно СНиП 2.04.05 і ГОСТ 12.4.021, водопровідною системою і каналізацією по СНиП 2.04.01, штучним освітленням по СНиП Н-4-79, опалюванням по СНиП 2.04.05, питною водою по ГОСТ 2874.

Перед входом до приміщення необхідно вивісити попереджувальні знаки безпеки відповідно до ГОСТ 12.4.026.

У місцях зберігання палива заборонено зберігати кислоти, кисневі балони та інші окислювачі.

Все обладнання та проводка повинні бути захищені від статичної електрики відповідно до ГОСТ 12.4.124.

У приміщеннях, де проводяться технологічні роботи з паливом, заборонено використовувати відкритий вогонь.

Під час відкриття ємностей заборонено використовувати інструменти, що утворюють іскри при ударі.

Для запобігання забрудненню повітря в робочих зонах необхідно забезпечити герметичність ємностей, обладнання, проводки та пристроїв для відбору проб відповідно до СанПіН № 1042, затвердженого за встановленими нормативними актами.

Персонал, який працює з паливом, повинен проходити первинні та періодичні медичні огляди відповідно до «Положення про порядок проведення медичних оглядів окремих категорій працівників», затвердженого наказом Міністерства охорони здоров'я України від 31 березня 1994 року № 45.

4.2.3 Аналіз умов виникнення і розвитку аварій в лабораторії по дослідженню палив

Для ідентифікації об'єктів з підвищеною небезпекою до небезпечних матеріалів на основі їхніх властивостей класифікуються такі категорії речовин:

1. Легкозаймісті гази – гази з температурою спалаху не більше 61 °С у закритій ємності або не більше 66 °С у відкритій ємності (легкозаймісті рідини згідно з ГОСТ 12.1.044-89);

2. Перегріті легкозаймисті рідини під тиском – легкозаймисті рідини згідно з ГОСТ 12.1.044-89, що містяться в апаратах, контейнерах або трубопроводах під тиском і температура яких перевищує температуру кипіння за стандартного тиску в 1,25 раза або більше.

Якщо рідина є сумішшю легкозаймистих рідин, температурою кипіння за стандартного тиску вважається температура кипіння половини маси. Якщо дані про цю температуру відсутні, температурою кипіння вважається температура кипіння суміші (відповідної фракції).

Як розрахункова температура використовується максимальна температура, зазначена в нормативних актах, інструкціях з експлуатації або іншій технічній документації. Встановлено запірний пристрій.

Схема створення сценаріїв виникнення та розвитку аварій у лабораторії для аналізу паливно-мастильних матеріалів показана на рис. 4.1.

Рисунок 4.1 – Схема побудови сценаріїв виникнення й розвитку аварій в лабораторії по дослідженню паливно-мастильних матеріалів

4.2.4 Алгоритм виявлення, оцінки та зменшення ризиків виникнення небезпечних ситуацій на виробництві

Ризик небезпечної ситуації виникає внаслідок поєднання впливу, тяжкості наслідків та ймовірності виникнення конкретної небезпечної ситуації під час виробничої діяльності.

1. Визначення можливості виникнення небезпечних ситуацій для працівників під час виробничої діяльності з урахуванням їхніх потенційних дій. Цей процес включає комплексний огляд технологічного процесу з точки зору безпеки та нешкідливості працівників. Враховуються всі аспекти, що містяться в правилах охорони праці, а також визначаються шкідливі та небезпечні виробничі фактори у виробничому середовищі, які можуть призвести до небезпечної події.

2. Визначення базового ризику небезпечних ситуацій.

Ступінь базового ризику виникнення небезпечної ситуації визначається за формулою [27]:

$$P = V \cdot H \cdot I_B, \quad (4.1)$$

де: P – ступінь ризику;

V – важкість і можливі наслідки небезпечної події;

H – можливість нараження на небезпеку;

I_B – імовірність виникнення небезпечної події.

Умовна імовірність виникнення небезпечної події (I_B) у числовому відтворенні визначається шляхом експертної оцінки за таблицею 4.2. Експертна оцінка здійснюється групою призначених фахівців.

Важкість і можливі наслідки небезпечної події (V) у числовому відтворенні визначаються за таблицею 4.1.

Таблиця 4.1 – Умовна імовірність виникнення небезпечної події (I_B)

Імовірність	Коментарі
5 – майже напевно	Подія, що спостерігається регулярно. Подія, що трапляється в більшості випадків.
4 – досить імовірно	Подія, що спостерігається періодично.
3 – імовірно	Подія, що трапляється інколи.
2 – малоімовірно	Подія, що спостерігається рідко.
1 – майже неймовірно	Подія, що трапляється лише при винятковому збігу обставин.

Таблиця 4.2 – Важкість і можливі наслідки небезпечної події (В)

Важкість небезпечної події		Можливі наслідки
1		2
5 – катастрофічна	Груповий нещасний випадок (постраждало 2 і більше працівників); нещасний випадок із смертельними наслідками; аварія; пожежа	Розслідування державними органами влади. Кримінальна відповідальність. Штрафні санкції України. Зупинка робіт. Анулювання ліцензії на вид діяльності.
4 – суттєва	Важкий нещасний випадок (тимчасова непрацездатність більше 60 днів). Профзахворювання. Інцидент, возгоряння.	Розслідування державними органами влади. Кримінальна відповідальність. Штрафні санкції згідно КпАП. Можлива призупинка робіт.
3 – незначна	Серйозне поранення, хвороба з тимчасовою втратою працездатності протягом до 60 днів. Інцидент, возгоряння.	Розслідування державними органами влади. Штрафні санкції згідно КпАП. Можлива призупинка робіт.
2 – мінімальна	Травма без втрати працездатності, потреба у стаціонарній медичній допомозі, надання легшої роботи. Інцидент, возгоряння.	Внутрішнє розслідування. Адміністративна відповідальність. Штрафні санкції згідно КпАП.
1 – несуттєва	Несуттєва травма (поріз, забиття), надана первинна медична допомога.	Дисциплінарна відповідальність.

Можливість нараження на небезпеку (Н) визначається за таблицею 4.4.

Таблиця 4.4 – Можливість нараження на небезпеку (Н)

Числове значення	Характеристика
3	Постійна можливість нараження на небезпеку (щоденна, щозмінна)
2	Рідка можливість нараження на небезпеку (один раз на місяць, квартал)
1	Мінімальна (один чи декілька разів на рік)

Підставляємо виділені дані у формулу (4.1).

$$P = B \times H \times I_b = 2 \times 4 \times 2 = 16 \text{ – ступінь ризику середній (10-24)}$$

Отже, план заходів потребує урахування коментарів, наведених у таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – План заходів [27]

Ступінь ризику R	Коментарі
Екстремальний (55-75)	Потребує невідкладних дій вищого керівництва із обов'язковим складанням плану заходів та призначенням відповідальних осіб. При необхідності – призупинка ведення робіт.
Високий (25-54)	Потребує уваги вищого керівництва. Терміново проінформувати працівників та їх безпосередніх керівників, керівника відповідного підрозділу та начальника служби охорони праці. Вжити заходи по забезпеченню безпеки працівників.
Середній (10-24)	Проінформувати працівників та безпосередніх керівників, керівника відповідного підрозділу та начальника служби охорони праці. Вжити заходи щодо зменшення ризику.
Низький (1-9)	Здійснюється управління шляхом виконання існуючих процедур. Звичайно не потребує додаткових ресурсів. Проінформувати керівника підрозділу та начальника служби охорони праці по закінченні робіт по визначенню ступеню ризику.

Для покращення безпеки праці на виробництві необхідні різні заходи, зокрема:

- створення та перегляд застарілих інструкцій з охорони праці;
- дотримання встановленої періодичності та обсягу навчання з охорони праці;
- встановлення зон безпеки з наочними посібниками;
- проведення навчання та сертифікації експертів з охорони праці тощо.

4.3 Техніко-економічне обґрунтування розробки

Собівартість (C_o) виробництва біогазу із гною ВРХ визначається із виразу [28, 29]:

$$C_o = 3 + A + T + B + \text{Э} + L + O_n + O_x, \quad (4.2)$$

де Z – заробітна плата основних і додаткових робітників, грн.;

A – річна сума амортизації, грн.;

T – витрати на поточний ремонт і технічне обслуговування, грн.;

B – витрати на паливно-мастильні матеріали, грн.;

L – витрати на воду, грн.;

Э – витрати на електроенергію, грн.;

$O_{\text{п}}$ – інші прямі витрати, грн.;

$O_{\text{х}}$ – загально-господарчі і загально-виробничі витрати, грн.

Заробітна плата робітників визначається за виразом:

$$Z = Z_0 \cdot K \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4, \quad (4.3)$$

де Z_0 – річний фонд заробітної плати основного і додаткового робітника (визначається із технологічної карти), грн.;

K_1, K_2, K_3, K_4 – відповідно коефіцієнт відрахувань у Пенсійний фонд 32%, страхування в зв'язку з тимчасовою втратою працездатності – 2,9%, страхування на випадок безробіття – 1,9%, соціальне страхування від нещасного випадку – 1,29%;

k – коефіцієнт, що враховує нарахування відпускних, $k = 6,27\%$;

$$Z = 40847 \cdot 1,32 \cdot 1,029 \cdot 1,019 \cdot 1,0129 \cdot 1,0627 = 60855,65$$

Річна сума амортизації (A), грн.:

$$A = \frac{B \cdot M}{100}, \quad (4.4)$$

де B – балансова вартість основних засобів, грн.;

M – норма амортизації, %; $M = 10\%$ [31].

$$A = \frac{1850000 \cdot 10}{100} = 185000 \text{ грн.}$$

Витрати на поточний ремонт і технічне обслуговування (T), грн.:

$$T = \frac{B \cdot n}{100}, \quad (4.5)$$

де B – балансова вартість основних засобів, грн.;

n – норма відрахувань на поточний ремонт і технічне обслуговування,
%

Норма відрахувань на обладнання складає – 6 % [31].

$$T = \frac{1850000 \cdot 6}{100} = 110000 \text{ грн.}$$

Витрати на паливно-мастильні матеріали розраховуємо за формулою

$$B = G \cdot C_k, \quad (4.6)$$

де G – кількість витрачених паливно-мастильних матеріалів за весь обсяг роботи, кг;

C_k – комплексна ціна палива, грн./кг

$$B = 1306 \cdot 20 = 26120 \text{ грн.}$$

Вартість електроенергії (\mathcal{E}), грн. розраховуємо за формулою

$$\mathcal{E} = C \cdot T_{\text{эл}}, \quad (4.7)$$

де C – кількість витраченої електроенергії за весь обсяг роботи, кВт·год;

T – тариф на придбання однієї кВт·год, грн.;

$$\mathcal{E} = 14026 \cdot 1,75 = 24545,5 \text{ грн.}$$

Витрати на воду L розраховуємо за формулою:

$$L = C \cdot T_{\text{вод}}, \quad (4.8)$$

де $T_{\text{вод}}$ – тариф на придбання одного 1 т води, грн.;

$$L = 8088 \cdot 3,9 = 31543,2 \text{ грн}$$

Інші прямі витрати ($O_{\text{п}}$), грн. визначаємо за формулою [31]:

$$O_{\text{п}} = \frac{(B + A + T) \cdot n}{100}, \quad (4.9)$$

де n – нормований відсоток прямих витрат, $n = 5\%$.

$$O_{\text{п}} = \frac{(60855,65 + 185000 + 111000) \cdot 5}{100} = 17847,78 \text{ грн.}$$

Загальновиробничі витрати (O_x), грн. визначаються за формулою:

$$Q_x = \frac{(3+A+T) \cdot k}{100}, \quad (4.10)$$

де k – відсоток витрат, $k = 25$ %.

$$Q_x = \frac{(60855,65 + 185000 + 111000) \cdot 25}{100} = 89213,92 \text{ грн.}$$

Собівартість виробництва всієї продукції за рік відповідно розраховуємо за формулою (4.2):

$$C_o = 60855,65 + 185000 + 111000 + 26120 + 17847 + 24545,5 + 89213,62 = 514582,85 \text{ грн.}$$

Але нас більше цікавить собівартість виробництва 1 т продукції:

$$C_T = \frac{C_o}{m}, \quad (4.11)$$

де m – об'єм виробленого палива за рік, m^3 .

$$C_T = \frac{514582,85}{168000} = 3,06 \text{ грн./м}^3$$

Розрахуємо техніко-економічні показники.

Визначимо валове виробництво продукції. Ціна продажу 1 m^3 біогазу складає 5,0 грн/ m^3 .

$$ВП = 168000 \cdot 5 = 840000 \text{ грн.}$$

Рівень рентабельності виробництва продукції за собівартістю ($УР_c$), %:

$$УР_c = \frac{(ВП - C_o) \cdot 100}{C_o}, \quad (4.12)$$

де $ВП$ – валовий продукт, грн.;

C_o – собівартість виробництва усїєї продукції, грн.

$$УР_c = \frac{(840000 - 514582,85) \cdot 100}{514582,85} = 63,25\%$$

Прибуток визначаємо за формулою:

$$П = ВП - C_o. \quad (4.13)$$

$$П = 840000 - 514582,85 = 325417,15 \text{ грн.}$$

Термін окупності капіталовкладень (T_o), років:

$$T_o = \frac{B}{\text{ВП} - C_o}, \quad (4.14)$$

де B – балансова вартість основних купованих засобів виробництва (будівництво біореактора – 420000), грн.

$$T_o = \frac{420000}{157417,5} = 2,67 \text{ роки.}$$

Отримані результати зводимо в таблицю 4.6.

Таблиця 4.6 – Основні техніко-економічні показники

Показник	Значення
1	2
1. Кількість поголів'я ВРХ, гол	300
2. Вихід біогазу з 1 т гною, м ³	70
3. Валове виробництво, м ³	168000
4. Річний вихід гною від 1 ВРХ, т	8
5. Заробітна плата, грн	60855,65
6. Витрати на паливно-мастильні матеріали, грн	26120
7. Витрати на воду, грн	31543,2
8. Витрати на електроенергію, грн.	24545,5
9. Капіталовкладення, грн.	420000
10. Валове виробництво, грн.	672000
11. Повна собівартість продукції, грн.	514582,85
12. Собівартість виробництва 1 м ³ палива, грн./м ³	4,06
13. Прибуток, грн.	157417,5
14. Рівень рентабельності виробництва продукції за собівартістю, %	30,5
15. Термін окупності капіталовкладень, років	2,67

Висновки: Отже, провівши техніко-економічне обґрунтування розробки, встановлено, що собівартість виробництва біогазу становить 4,06 грн/м³. Розрахунок техніко-економічних показників до яких входять

рентабельність та термін окупності капіталовкладень, дав змогу встановити, що виробництво біогазу є прибутковою справою.

ВИСНОВКИ

1. На основі аналітичних досліджень було визначено найважливіші технологічні етапи виробництва біогазу. Було встановлено, що залежно від стану використовуваної сировини та її технологічних параметрів, кількість та послідовність цих етапів можуть змінюватися в кожному окремому випадку. Крім того, процес виробництва біогазу вимагає постійного та своєчасного контролю параметрів ферментації.

2. Було визначено аналітичні залежності, що описують положення БГУ відносно кута нахилу реактора, відстані системи подачі до основи реактора, кута та діаметра системи подачі, а також габаритних розмірів реактора.

3. Для об'єктивної оцінки ефективності використання об'єму реактора БГУ було використано такий показник, як коефіцієнт заповнення, який залежить від кінематики реактора БГУ.

4. Математична модель для розрахунку кінематики та визначення коефіцієнта заповнення реактора була розроблена в Microsoft Office Excel 2016. Змінними моделі є діаметр механізму завантаження, відстань механізму завантаження від основи реактора, кут нахилу механізму завантаження та кут нахилу реактора.

5. Коефіцієнт заповнення реактора збільшується пропорційно відстані механізму завантаження від основи реактора. Збільшення цієї відстані лише на 0,4 м призводить до збільшення коефіцієнта заповнення реактора на 20%.

6. Коефіцієнт заповнення реактора збільшується пропорційно діаметру механізму завантаження. Збільшення діаметра з 0,2 м до 0,4 м призводить до збільшення коефіцієнта заповнення реактора на 12%.

7. Коефіцієнт заповнення реактора зменшується зі збільшенням кута нахилу механізму завантаження. Збільшення кута з 45° до 65° зменшує коефіцієнт заповнення реактора з 0,82 до 0,77.

8. Коефіцієнт заповнення реактора збільшується пропорційно куту нахилу реактора. У цьому випадку збільшення кута з 30° до 70° призводить до збільшення коефіцієнта заповнення реактора на 9%.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Журнал Пропозиція [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.propozitsiya.com/?page=149&itemid=2985&number=98>
2. Досвід Швеції з виробництва біогазу // Економічний розвиток громади. – Випуск 1. №6. – 2005 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.ced.org.ua/ukr/Visnyk-6.doc
3. Перспективи біогазу в Україні [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.epravda.com.ua/columns/2013/07/3/383399/>
4. Куріс Ю.В., Майстренко О.Ю., Ткаченко С.І. Систематизація схем біогазових установок та оптимізація енергетичної ефективності роботи анаеробного реактора. *Енергетика та електрифікація*. № 8. 2008. С. 31–39.
5. Майстренко О.Ю., Куріс Ю.В., Ряснова О.В., Власенко В.М. Дослідження показників біореактору при анаеробному зброджуванні біомаси. *Міжнародна конференція «Problems of light science 2009», Volgariya*. 2009. С. 19–29.
6. Біогазові технології в Україні [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://cba.org.ua/one/images/stories/CBA_news/Innovations_in_CBA/Vudivnyctvo_i_ekspl_Biogas_2011.pdf
7. Павліський В.М. Техніко-економічне обґрунтування вибору технологій та сільськогосподарських культур для виробництва біопалива / В.М. Павліський, Ю.П. Нагірний, О.В. Павліська // Науковий вісник НУБіП України. – 2010. р. – № 146. – С. 220–228.
8. Рожков А.О., Безпалько В.В., Деревянко І.О. Прогноз і програмування врожаїв сільськогосподарських культур: курс лекцій. ДБТУ, Харків. 2025. 70 с.
9. Пастухов В.І. Енергетична оцінка механізованих технологій рослинництва. Методи і результати : навчальний посібник. Харків,

- 2003, ХДТУСГ. 100 с.
10. Біоенергетичні проекти: від ідеї до втілення. Практичний посібник/ під ред. Тормосова Р.Ю. Київ : ТОВ «Поліграф плюс», 2015. 208 с.
 11. Клименко М.О., Колесник Т. М. Енергетична оцінка господарсько-екологічної ефективності технологій вирощування сільськогосподарських культур. *Вісн. нац. ун-ту водного господарства та природокористування: зб. наук. пр.* Вип. 1 (41). Рівне, 2008. С. 31–39.
 12. Мороз В.І., Братченко О.В., Павшенко А.В. Теорія механізмів і машин: дослідження та проектування механізмів типових технічних засобів залізничного транспорту: навч. посібник. Харків : УкрДАЗТ, 2013. 156 с.
 13. Арндаренко В.М., Дудніков І.А. Теорія механізмів і машин в прикладах і задачах. Навчальний посібник. Полтава, 2020. 176с.
 14. Кіницький Я.Т. Теорія механізмів і машин : підручник. Київ : Наукова думка, 2002. 660с.
 15. Кіницький Я.Т. Практикум із теорії механізмів і машин: Навчальний посібник. Львів : Афіша, 2002. 452с.
 16. Експлуатація машино-тракторного парку в аграрному виробництві / [В. Ю. Ільченко, П. І. Карасьов. А. С. Лімонт та ін]; за ред. В. Ю. Ільченка. Київ : Урожай, 1993. 288 с.
 17. Експлуатація машин та обладнання / І. М. Бендера та ін. Кам'янець-Подільський : ФОП «Сисин Я. І.», 2013. 576 с.
 18. Організація та технологія технічного сервісу машин : навчальний посібник / В. М. Кюрчев та ін. ; ред. О. Шокарева. Мелітополь : ТОВ «ФОРВАРДПРЕСС», 2019. 307 с.
 19. Технічний сервіс в агропромисловому комплексі : навч. посібник / О.В. Коновалюк та ін. Київ : Аграрна освіта 2013. 404 с.
 20. Корсак К.В., Плахотнік О.В. Основи екології. Київ : МАЧП, 2000 240 с.

21. Злобін Ю. А. Основи екології. Київ : Лібра, 1998. 248 с.
22. Калініченко А.В., Писаренко В.М. Особливості формування екологічно збалансованих агроєкосистем. Полтава, 2005. 368 с.
23. Запольський А.К., Салюк А.І. Основи екології : підручник / за ред. К. М. Ситника. Київ : Вища школа, 2003. 358 с.
24. Закон України про охорону праці від 14.10.1994 р. Київ : 1995.
25. Жидецький В.П. Основи охорони праці: підручник. Львів : Українська академія друкарства, 2006. 335 с.
26. Охорона праці: збірник законодавчих і нормативних актів з охорони праці, том 1 / [упорядник Федоров М. І.]. Полтава : ТОВ «Інтерграфіка», 2004. 336 с.
27. Федоров М.І., Лапенко Т.Г., Дрожчана О.У. Охорона праці в галузі. Полтава : ТОВ «Видавництво «ІнтерГрафіка», 2009. 297 с.
28. Мацибора В. І. Економіка сільського господарства : підручник / В. І. Мацибора. Київ : Вища школа, 1994. 415 с.
29. Андрусь О.І., Покровська Н.М. Економіка та організація виробництва : навчальний посібник. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 127 с.
30. Організація виробництва в сільськогосподарських підприємствах: [практикум] / За ред. Г. С. Тарасенка і Л. Я. Зрібняка. Київ : Урожай, 1993. 224 с.
31. Писаренко С.В., Михайлова О.С., Болдирева Л.М., Назарук Л.М. Економіка і організація сільськогосподарського виробництва: навчальний посібник. Полтава : РВВ ПДАА, 2010. 352 с.

Додатки