

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВОЛИНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ЛЕСІ УКРАЇНКИ

Кафедра економіки і торгівлі

На правах рукопису

КУЗМІНСЬКИЙ ІГОР ВОЛОДИМИРОВИЧ

ЕКОНОМО-ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ ТА НАПРЯМИ
ПОКРАЩЕННЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ У СФЕРІ
ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ

Спеціальність: 051 «Економіка»

Освітньо-професійна програма «Економіка довкілля і природних ресурсів»

Робота на здобуття освітнього ступеня «Магістр»

Науковий керівник:
ПАВЛОВ КОСТЯНТИН
ВОЛОДИМИРОВИЧ
доктор економічних наук, професор

РЕКОМЕНДОВАНО ДО ЗАХИСТУ

Протокол № _____
Засідання кафедри економіки і торгівлі
від 04.12.2024 р.

Засідувач кафедри _____
проф. Павлова О.М.

_____ 2024

Волинський національний університет імені Лесі Українки

Факультет економіки та управління

Кафедра економіки і торгівлі

Освітній ступінь магістр

Спеціальність 051 «Економіка»

Освітньо-професійна програма «Економіка довкілля і природних ресурсів»

ПРИЙМАЮ

Завідувач кафедри

«27» грудня 2023 року

ЗВАННЯ ВИПУСКНИКА ПІСЛЯЦЬОБ'ЄДНАВЧОЇ РОБОТИ (ПРОЕКТ)

ДОБРАЧУ ОСВІТИ

Кузмінськом Ігорю Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) «Еколого-економічний аналіз та напрями покращення виробничих процесів у сфері виробництва біогазу»

Керівник проекту (роботи) Павлов Костянтин Володимирович, д.е.н., професор,

2. Строк подання студентом роботи (проекту) 03.12.2024 р.

3. Мета та завдання даної роботи полягають у визначенні еколого-економічних перспектив системи покращення виробничих процесів у сфері виробництва біогазу.

4. Дата видачі завдання 17.01.2023 р.

Кузмінський І. В. Еколого-економічний аналіз та напрями покращення виробничих процесів у сфері виробництва. Волинський національний університет імені Лесі Українки. 2024.

Магістерська дисертація присвячена дослідженню проблеми виробництва біогазу, його еколого-економічній оцінці та сучасним технологіям у цій галузі. Розглянуто значення наукових аспектів наукові дослідження розробки провідних вітчизняних та зарубіжних фахівців у галузі виробництва альтернативних джерел енергії та проведено порівняння їх техніко-економічної ефективності. Проведено аналіз світових прогнозів розвитку відновлюваних джерел енергії. Визначено сучасний стан та перспективи розвитку біоенергетики в Україні. Проаналізовано типові інвестиційні проекти будівництва біогазових установок. На основі аналізу новітніх технологій виробництва біогазу та їх економічної ефективності представлено загальну модель процесу виробництва біогазу та визначено сировину для його виробництва. Визначено основні стадії виробництва біогазу, включаючи гідроліз, кислотоутворення, виробництво оцтової кислоти та метаногенез. Визначено мікро- та мікроелементи, що постачають мінеральні речовини мікроорганізмам. Проведено техніко-економічне обґрунтування для визначення самозабезпеченості тваринницьких ферм виробництвом біогазу. Визначено економічні та соціальні перспективи виробництва та використання біогазу в Україні.

Ключові слова: біогаз, відновлювані джерела енергії, біогазові установи, біоенергетичні технології, біоенергетика.

Kuzminskyi I. V. Ecological and economic analysis and directions of improvement of production processes in the area of production. Lesya Ukrainka Volyn National University. 2024.

The master's thesis is devoted to the study of the problem of biogas production, its ecological and economic assessment and modern technologies in this field. The general scientific principles, scientific achievements, developments of leading domestic and foreign experts in the field of alternative energy sources are considered and their technical and economic efficiency is compared. An analysis of global forecasts for the development of renewable energy sources is carried out. The current state and prospects for the development of bioenergy in Ukraine are determined. Typical investment projects for the construction of biogas plants are analyzed. Based on the analysis of the latest biogas production technologies and their economic efficiency, a general model of the biogas production process is presented and the raw materials for its production are identified. The main stages of biogas production, including hydrolysis, acid formation, acetic acid production, and methanogenesis, are identified. Micro- and macroelements that supply minerals to microorganisms are identified. A feasibility study was conducted to determine the self-sufficiency of livestock farms in biogas production. The economic and social aspects of biogas production and utilization in Ukraine are determined.

Keywords: biogas, renewable energy sources, biogas plants, bioenergy technologies, bioenergy.

ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1. ОСНОВНІ НАПРЯМКИ ВИГОТОВЛЕННЯ І	
ВИКОРИСТАННЯ БІОГАЗУ.....	11
1.1. Законодавство та нормативна правова база щодо розвитку біоенергетики.....	11
1.2. Сучасний стан та перспективи розвитку біоенергетики в Україні.....	17
1.3. Типових інвестиційних проектів підвищення енергетичних установок.....	23
РОЗДІЛ 2. СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ	
ТА ЇХ ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ.....	30
2.1. Загальна модель процесу створення біогазу.....	30
2.2. Сировина для виробництва біогазу.....	35
2.3. Процес виготовлення біогазу.....	37
2.4. Техніко-економічне обґрунтування самокупності ферми для утримання великої рогатої худоби за рахунок виробництва біогазу.....	48
РОЗДІЛ 3. НАПРЯМКИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ	
ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ.....	56
3.1. Економічні та соціальні перспективи виробництва та використання біогазу в Україні.....	56
3.2. Впровадження сучасних біоенергетичних технологій.....	59
3.3. Перспективні напрями виробництва біогазу в Україні.....	68
ВИСНОВКИ.....	78
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	82

Виробництво енергії з відновлюваних джерел є однією з головних тем, які зараз обговорюються в Європі та в усьому світі. Через суперечливість виробництва біоетанолу та біодизелю і високу собівартість виробництва, кількість біогазових установок в ЄС останніми роками постійно зростає.

Біоенергетика - це використання енергії з біомаси, тобто органічної речовини, виробленої в результаті фотосинтезу. «Зеленим паливом» іноді називають паливо, виготовлене рослинами, отримане з біомаси. Однак, чим більше говорять про біоенергетику, тим частіше термін «біопаливо» використовується для позначення рідких біопалив, таких як біодизель, біоетанол і метанол, а також твердих і газоподібних біопалив, таких як біогаз, синтез-газ, побутові відходи, сільськогосподарські відходи і деревні залишки.

Однак сільськогосподарські культури, що вирощуються для отримання енергії та палива, швидше за все будуть конкурувати з газом та дизельним паливом. Це їстівні та нехарчові рослини, такі як енергетична верба, тополя, ріпак, соя та багаторічні рослини, а також соняшник, льон і кукурудза.

Як джерело енергії біомаса може використовуватися в процесах прямого спалювання соломи, деревини та органічного сапропелю донних відкладів, а також у перероблених рідких формах, таких як ефіри ріпакової олії, спирт і газоподібне паливо (біогаз). Біомаса може бути перероблена в енергоносії фізичними, хімічними та біологічними способами.

Біоенергетика - це напрям, який глобально перспективний для успішного майбутнього розвитку всієї цивілізації.

Нинішніх екологічних викликів можна уникнути, а майбутні - попередити завдяки очищенню стічних вод, біосорбції важких металів зі стічних вод, очищенню викидів токсичних газів, збагаченню атмосфери киснем, використанню перспективних методів утилізації твердих і рідких промислових відходів, більш ефективних методів екологічної рекультивации забруднених ґрунтів, заміні пестицидів новими біотехнологічними продуктами. Це було б неможливо без використання нових екобіотехнологій.

Іншими важливими напрямками є розвиток екобіотехнологій, спрямованих на виробництво біогазу з органічних відходів, руйнування токсичних речовин мікроорганізмами та використання методів біоіндикації та біоаналізу для моніторингу навколишнього середовища.

Біогаз - це узагальнена назва горючих газових сумішей, що утворюються при мимовільному розкладанні речовин органічного походження в результаті анаеробних мікробіологічних процесів, тобто м'ясного бродіння. Забезпечують максимально сприятливі умови активної діяльності основних видів бактерій, завдяки чому процес розкладання їжі займає багато часу і може бути завершений за кілька днів.

Технологія виробництва біогазу є ще біологічний процес анаеробного розкладання органічних речовин.

У процесі виробництва біогазу утворюється біогаз і залишки бродіння. Основними компонентами біогазу є біогаз на енергію метан і вуглекислий газ із залишкових газів, таких як аміак, сірководень і пара. Залишки ферментації можна використовувати як органічне добриво в природному циклі.

Процес виробництва біогазу запобігає викидам метану в атмосферу, зменшує використання хімічних добрив і знижує ризик забруднення ґрунтових вод.

Найважливішим для економіки України є те, що вироблений біогаз є побічним продуктом утилізації органічних відходів. Як правило, сировина для виробництва біогазу виробляється на підприємствах і не потребує закупівлі.

Згідно з дослідженням, проведеним Європейською Комісією, біогазова енергетика вирішує проблеми, пов'язані з зайнятістю сільського населення та підвищення його реальний дохід. Впровадження цих технологій також сприяє розвитку енергетичної інфраструктури в селах, що позитивно впливає на рівень життя населення та сприяє його збереженню.

ОСНОВНІ НАПРЯМКИ ВИГОТОВЛЕННЯ І ВИКОРИСТАННЯ БІОГАЗУ

1.1. Законодавство та нормативно-правова база щодо розвитку біоенергетики

Відповідно до Закону України «Про ставки акцизного збору і ввізного мита на деякі підкисні товари» в редакції Закону України «Про ставки акцизного збору і ввізного мита на деякі підкисні товари» від липня 2009 року, ставка акцизного збору за 1000 кг вискооктанових кисневмісних високооктанових кисневмісних добавок, етилтрет-бутилового етеру або їх сумішей, ставка акцизного збору за 1000 кг бензинів моторних сумішевих, що містять понад 5% зазначених добавок, становить 110 євро. Ставка акцизного податку за 1000 кг сумішей бензинів, що містять понад 5% високооктанових кисневмісних добавок, етилтрет-бутилового етеру або їх сумішей, становить 110 євро. Ставка податку на виробництво високооктанових кисневмісних добавок до бензину становить 0 євро. Виробництво з примусовою денатурацією бензину може здійснюватися державними спиртовими заводами.

У 2009 році було прийнято Закон «Про внесення змін до деяких законів України щодо сприяння виробництву та використанню біологічних видів палива» з метою сприяння виробництву та використанню біологічних видів палива та розвитку внутрішнього ринку палива з використанням біомаси як відновлюваної альтернативної сировини.

Кабінет Міністрів України визначає умови діяльності, пов'язані з виробництвом біоетанолу, які можуть здійснюватися на підприємствах різних форм власності за умови отримання відповідних ліцензій.

З 1 січня 2014 року була встановлена нульова ставка акцизного збору на відсотковий вміст біокомпонентів у моторному сумішевому.

Тимчасово звільняють від податкування операції з постачання машин, обладнання та устаткування.

З 1 січня 2010 року звільняється від оподаткування: прибуток підприємств від діяльності з одночасного виробництва електричної та теплової енергії та/або виробництва теплової енергії з використанням біологічних видів палива; прибуток виробників устаткування, обладнання та механізмів від продажу на території України, вивільнений у зв'язку з наданням податкових пільг, якщо платник податку кошти, що спрямовуються на зменшення собівартості продукції; кошти на стимулювання продажу інвестицій для зовнішнього управління основних фондів підприємств на період до 1 січня 2010 року.

Прийнятий закон є важливим підґрунтям для формування та використання біоенергетичного потенціалу України, що принесе значні вигоди як виробникам біопалива, так і виробникам машин, обладнання та устаткування, а також сприятиме залученню інвестицій у біоенергетичний сектор.

На сьогоднішній день вчені Інституту технічної теплофізики Національної академії наук оцінюють потенційний річний еквівалент біомаси приблизно в 24,2 млн. тонн, що еквівалентно 16,9 млн. тонн нафтового еквіваленту на рік. Найбільша частка загальної біомаси припадає на соломку зернових культур - 5,6 млн. тонн умовного палива на рік, енергетичні культури - 5,1 млн. тонн та рідкі біопалива - 2,2 млн. тонн. Енергетична стратегія України до 2030 року, прийнята у 2006 році, оцінює технічно досяжний річний енергетичний потенціал нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії (НВДЕ) в Україні у 79 млн. тонн нафтового еквіваленту в перерахунку на традиційні види палива, а економічно досяжний потенціал у 5,77 млн тонн.

В ЄС найбільшою країною у виробництві біогазу в Європі є важливою частиною енергетичного балансу. Україна має потужний сільськогосподарський сектор, який виробляє велику кількість органічних відходів, а отже, багатий на енергетичні ресурси, необхідні для виробництва біогазу.

Однак, наразі в Україні виробляється лише декілька біогазових технологій. Фактично, електроенергія, вироблена з біогазу, могла б підпадати під дію «зеленого тарифу», але українські законодавчі органи, які мають такі тарифи для всіх видів відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), не визначили значення коефіцієнту «зеленого» тарифу для електроенергії, виробленої з біогазу.

Електроенергія, вироблена з біогазу, може продаватися за так званим «зеленим» тарифом. Цей тариф був прийнятий відповідно до Закону України «Про внесення змін до деяких законів України щодо встановлення “зеленого” тарифу» (№ 601-VI від 25 вересня 2008 року). Цим законом було введено визначення «зеленого» тарифу (термінологія) та уточнено визначення поняття «альтернативні джерела енергії».

«Зелений» тариф - це спеціальний тариф на купівлю електричної енергії, виробленої на об'єктах електроенергетики, що використовують альтернативні джерела енергії (крім доменного та коксівного газів, а також гідроенергії, виробленої виключно малими гідроелектростанціями). Це визначення було введено в Законі України «Про електроенергетику».

«Альтернативні джерела енергії» - це відновлювані джерела енергії, включаючи сонячну, вітрову, геотермальну, хвильову, припливну, гідроенергію, біогаз, біомасу та органічних рідких та газ, що утворюється на очисних спорудах. Воно також включає вторинні енергетичні ресурси, такі як доменний газ, коксівний газ, газ метан, що утворюється при дегазації вугільних родовищ, а також потенційне перетворення енергії відходів різних технологічних процесів. Це визначення міститься в Законі України «Про альтернативні джерела енергії».

Наведене вище визначення вказує на те, що «зелені» тарифи повинні встановлюватися на електроенергію, вироблену з альтернативних джерел енергії, до яких також відносяться різні види біогазу.

На жаль, Закон України «Про внесення змін до Закону України “Про заохочення використання альтернативних джерел енергії” Закон про електроенергетику» (№ 1220-VI від 11 квітня 2009 року) не встановлює коефіцієнт «зеленого» тарифу для електроенергії, виробленої з біогазу, але для всіх інших видів відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) встановлено для всіх інших видів відновлюваних джерел енергії (ВЛЕ).

Законодавство, що регулює розвиток альтернативної енергетики в Україні, постійно вдосконалюється. Нещодавно Верховна Рада прийняла часткові зміни до Закону «Про електроенергетику», які регулюють всі види відновлюваної енергії, включаючи енергію вітру, сонця, біомаси, біогазу та малих річок.

Поправки спрямовані на підтримку та стимулювання виробництва електроенергії з альтернативних джерел енергії. Найважливішою особливістю є надання біогазу статусу енергії, на яку поширюється дія «зеленого» тарифу.

На перший погляд здавалося, що відновлювані джерела енергії в Україні отримали умови для інтенсивного розвитку. Особливо це стосується суб'єктів, які розвивають виробництво біогазу.

Крім того, виробники альтернативних джерел енергії мали бути переконані, що кількість електроенергії, виробленої з відновлюваних джерел енергії, збільшуватиметься, а значна частка в енергетичному балансі України зростатиме. Більше того, в альтернативній енергетиці є величезні ресурси, і місця для роботи в цій галузі вистачить усім (це було головним питанням в оновленій енергетичній стратегії України до 2020 року). Однак проблеми уникнути не вдалося. Альтернативна енергетика в Україні зробила перші кроки і в 2012 році відсвяткувала своє друге річчя.

Компанії, що працюють у цьому секторі, перебувають під тиском світової кризи та конкуренції з боку виробників традиційної енергії. Це є суперечливим і може стримувати інвестиції у відновлювану енергетику.

Для більш широкого розуміння, законодавство про електроенергетику запроваджує «зелений тариф» для електроенергії, виробленої з біогазу, який еквівалентний електроенергії, виробленій з біомаси. У цьому випадку коефіцієнт для біогазу становить 2,3, як і для біомаси. Закон також знімає обмеження, що «зелений тариф» застосовується лише до малих електростанцій, що працюють на біогазі. Таким чином, великі існуючі, так і нові установи, мають право на отримання «зеленого» тарифу.

Крім біогазу, Закон також запроваджує додатковий «бонус» для малих електростанцій. Для мікро-ГЕС потужністю до 200 кВт коефіцієнт може подвоїтися до 2, а для міні-електростанцій потужністю понад 200 кВт і менше 1 МВт коефіцієнт був збільшений з 1,2 до 1,6. Ці зміни скорочують термін окупності виробництва малих ГЕС та міні-ГЕС і роблять фінансування більш привабливим для банків.

Інвестори в малі ГЕС задоволені, в той час як прихильники енергії з біомаси порівнюють «зелений» тариф для біогазу з ціною, яку отримують компанії, що інвестують в сонячну енергетику.

Агентство з енергоефективності та енергозбереження розробило методологію розрахунку «зелених» тарифів для сонячної, вітрової та малої гідроенергетики. Методика була розроблена у 2008 році і стала законом у 2009 році. На той час це був передовий крок у розвитку альтернативних джерел енергії. «Що стосується розвитку енергетики, то Україна має надзвичайний потенціал у цій сфері. Водночас, існують значні відмінності між вітровою, сонячною та гідроенергетикою та біогазом, а також різні вимоги та окупність інвестицій для розвитку кожного сектору».

По-перше, сонячні електростанції виробляють електроенергію лише тоді, коли світить сонце. Як правило, це час з 8 ранку до 5 вечора. Електростанції на біомасі можуть працювати 24 години на добу, поки у них є паливо - біомаса. Тому електростанції на біомасі завжди виробляють більше електроенергії, ніж сонячні електростанції за певний період (день, місяць або рік).

По-друге, обладнання для фотоелектричних електростанцій у кілька разів дорожче, ніж для електростанцій на біомасі.

Тому, щоб фотоелектричні електростанції та електростанції на біомасі були однаково привабливими для інвесторів, терміни окупності повинні бути порівнянними. В іншому випадку конкуренція за інвестиції в галузь не виникне.

З цієї причини тарифи на фотоелектричну енергію встановлюються вищими, ніж на енергію з біомаси. Для різних в тарифах була встановлена для того, щоб зробити фотоелектричну енергію та енергію з біомаси більш привабливими. В іншому випадку, якщо тарифи були однаковими для всіх видів енергії, будувати сонячні та вітрові електростанції було б не вигідно, і всі інвестиції були б зосереджені в біоенергетиці.

Фактично Україна зараз практично копіює європейський підхід до розвитку альтернативної енергетики. Проводжуючи різні тарифи, держава заохочує встановлення сонячних електростанцій переважно в приватному

секторі та на дахах будівель і споруд. Як відомо, сонячна енергетика наразі є однією з найбільш швидкозростаючих галузей.

Тому «зелений» тариф, який є вищим, ніж у Європі, є тимчасовим і певною мірою вимушеним заходом для залучення іноземних інвестицій. Крім того, кредитоспроможність України вища, ніж у Європі.

Дуже важливо відзначити, що нещодавня поправка до Кодексу електроенергетики ввела нове правило «місцевої складової» на шість місяців раніше для отримання «зеленого тарифу» для електростанцій, будівництво яких було розпочато після 01.01 року і завершено після 1 січня 2013 року, об'єкти матеріалів, обладнання та будівельних робіт, вироблених в Україні, повинні становити не менше 30%.

Якщо ж об'єкт в буди введений в експлуатацію після 1 січня 2014 року, то загальний обсяг матеріалів, обладнання та будівельних робіт, вироблених в Україні, мав становити не менше 50%. Тому доцільно ще раз згадати про суперприбутковість, що виникають при виробництві біогазу, що стало відправною точкою для внесення змін до закону. Таким чином, біогазові електростанції отримали привілейований статус. У порівнянні з іншими відновлюваними джерелами енергії, біогазовим електростанціям надається додаткова відстрочка виконання правила «місцевої складової»: з 2014 року вони повинні забезпечувати 30 %, а з 2015 року - 50 %. Це дає біогазовим електростанціям піврічну відстрочку порівняно з сонячними, вітровими та біомасою.

Вимоги до зеленого тарифу для біогазу. Порівняння зелених тарифів (ЗТ) для відновлюваних джерел енергії в Україні та запропонованих зелених тарифів для виробництва біогазу представлено в Таблиці 1.1.

Для того, щоб зробити біогазові проекти цікавими для інвесторів, коефіцієнт «зеленого тарифу» має бути підвищений на такі роки:

- $K = 3,0$ - електроенергія, вироблена з біогазу, отриманого з біомаси та сільськогосподарських відходів;

- $K = 2,5$ - решта види біогазу, включаючи біогаз, вироблений з твердих побутових відходів (ТПВ) або з вироблений з органічної частини ТПВ та біогаз, вироблений з стічних вод та їх осадку.

Діючі в Україні зелені тарифи для ВДЕ і їх порівняння із зеленими тарифами, що пропонуються для виробництва біогазу

	Коефіцієнт зеленого тарифу	Зелений тариф, Євроцентів/кВт·год	Зелений тариф, коп/кВт·год
Сонце (макс)	4,8×1,8	46,53	505,09
Сонце (мін)	4,4×1,8	42,65	463,00
Біогаз із с/г сировини	3,0	16,16	175,38
Біогаз з інших джерел	2,7	14,54	155,84
Біомаса	2,3	12,39	134,46
Вітер (макс)	2,1	11,31	122,77
Вітер (мін)	1,2	6,46	70,15
Гідроенергетика (0,1 кВт _е)	4,8×1,8	46,53	505,09

За таких «зелених» тарифів термін окупності біогазових інвестиційних проєктів становить приблизно 7-10 років, що є мінімальним терміном, необхідним для активного залучення інвестицій у виробництво біогазу.

1.2. Сучасний стан та перспективи розвитку біоенергетики в Україні

Енергетична безпека України значною мірою залежить від диверсифікації джерел енергії та кількості імпортованого палива. Тому скорочення споживання природного газу та розвиток відновлюваної енергетики є нагальним завданням для України сьогодні.

Наразі природний газ залишається основним видом палива в Україні, на його частку припадає близько 40% споживання первинної енергії. Водночас, Україна забезпечує себе лише на 8% від власних запасів, а більшість від потреби доводиться імпортувати, переважно з Росії. Крім того, вартість природного газу постійно зростає з 2015 року. На вугілля припадає 28% споживання первинної енергії, на нафту і нафтопродукти - 12%, на атомну енергію - 18%. Відновлювані джерела енергії надають 2,5% енергетичного балансу, з яких у числі 2% від великої гідроенергетики. Виробництво енергії з біомаси становить лише 0,5% від загального обсягу.

Біомаса є найбільш перспективним відновлюваним джерелом енергії, оскільки, по-перше, Україна має великі запаси біомаси, яка може бути використана як джерело енергії, і, по-друге, використання біомаси як палива може безпосередньо замінити природний газ.

За експертною оцінкою Інституту технічної теплофізики Національної академії наук України, економічно доцільний потенціал біомаси становить близько 30 млн. т умовного палива на рік, що може задовольнити до 18% потреби України в первинній енергії. Основними складовими цього потенціалу є сільськогосподарські відходи та енергетичні культури. Сільськогосподарські відходи є рентабельний компонент, який нараховується для виробництва енергії. Енергетичні культури наразі представляють «віртуальну» частину потенціалу, оскільки їх вирощування в Україні обмежується невеликою кількістю дослідних та експериментальних плантацій. Хоча виробництво енергетичних культур у промислових та комерційних масштабах ще не розпочалося, заочні тенденції свідчать про те, що в найближчому майбутньому можна очікувати стрімкого розвитку цього напрямку.

Однією з основних переваг біомаси є її відносна дешевизна порівняно з традиційними видами палива (переважно природним газом). Вартість одиниці енергії (ГДж) більшості видів твердого біопалива значно нижча, ніж вартість природного газу для промислових споживачів. Деревні гранули є найдорожчим твердим біопаливом, навіть дорожчим за природний газ для житлово-комунального господарства та домогосподарств. Це пов'язано з тим, що ціни на природний газ для цих споживачів суттєво занижуються порівняно з ринковими.

Враховуючи поточні ціни на виробні види палива, теплоу енергію та біомасу, замовлення котлів на біомасі для виробництва тепла є економічно вигідним, може бути економізоване майже для всіх об'єктів виробництва тепла, починаючи з державної, муніципальної та промислового сектори. Період окупності котлів на деревині та соломі становить приблизно два роки. Відносно низькі ціни на природний газ для домогосподарств та комунальних підприємств є основною перешкодою для широкого використання біомаси як палива.



Рис 1.1. Місяцьової ціни природного газу на кордоні України

Загалом, місткість мережі котлів на біомасі в Україні становить 57100 одиниць, зальною встановленою потужністю 8180 МВт. Після введення в експлуатацію ця потужність дозволить замінити 4,8 млрд м³ природного газу на рік. Вартість заміщення газу становить 12,8 млрд грн (2638 грн за 1000 м³). Вартість біомаси для роботи біоенергетичних об'єктів становить 2,6 млрд грн (середня ціна 200 грн/тонна). Щорічна економія коштів від заміщення природного газу біомасою становить 12,8 млрд. грн. - 2,6 млрд. грн. = 10,2 млрд. грн., що 1,8 рази перевищує загальний обсяг інвестицій, необхідних для встановлення запропонованої котельні. Важливо, що ця економія коштів буде повторюватися щороку.

Наразі в Україні працює близько 20 сотень котлів максимальною потужністю 1 МВт, встановлених переважно в сільських школах та сільсько-господарських підприємствах. Існують також понад 1 500 котлів на деревній біомасі потужністю понад 100 кВт. Близько 1000 з цих котлів є досить старими, оскільки були встановлені лісовими та деревообробними підприємствами з вугілля або мазуту для опалювання деревних відходів. У довгостроковій перспективі вони

мають бути змінені на сучасні кошти на деревній біомасі з вищою ефективністю та значно кращими показниками викидів.

Ситуація у сфері виробництва електроенергії з біомаси покращується із запровадженням «зелених» тарифів на відновлювану енергію. Порядок розрахунку затверджено Законом України «Про внесення змін до Закону України “Про електроенергетику” щодо стимулювання використання альтернативних джерел енергії» (№ 1220-VI від 01.04.2009) та Постановою НКРЕ «Про затвердження Змін до Порядку встановлення, перегляду та припинення дії “зеленого” тарифу для суб'єктів господарювання» (2019 № 828 від 16/07/2019). Враховуючи вплив «зелених» тарифів, до 2020 року рекомендуються об'єкти виробництва електроенергії з біомаси: міні-ТЦ на деревній, міні-ТЕЦ на соломі, когенераційні установки на біогазі з гною та інших відходів, а також міні-ТЦ на біогазі полігонів твердих побутових відходів. Рекомендується об'єкти виробництва електроенергії.

Україна має достатні умови та потенціал для інтенсивного розвитку біоенергетичного сектору. Основними драйверами цього процесу є постійне зростання цін на традиційні джерела енергії та велика кількість біомаси, доступної для енергетичного використання. Закон «Про біопаливо» та Закон «Про зелений тариф» сприяють впровадженню біоенергетичних технологій для виробництва теплової та електричної енергії.

Ефективність розвитку біоенергетики в Україні значною мірою залежить від координації діяльності в цьому секторі та правильного вибору пріоритетів. На державному рівні має бути визначений який державний орган який би займався всіма питаннями біоенергетичного сектору та координував діяльність інших відповідних організацій та установ.

Пріоритетні напрямки розвитку мають бути визначені та забезпечені фінансуванням у національній програмі розвитку біоенергетики в Україні. [...] [...] Одним з основних чинників для розвитку біоенергетики в Україні є викривлення цін на природний газ для різних категорій споживачів. Штучно занижені ціни на газ для населення та житлово-комунального господарства роблять практично неможливим впровадження біоенергетичних технологій у житлово-комунальному секторі.

Національні цілі щодо внеску біомаси в загальне споживання первинної енергії повинні бути встановлені в офіційних документах, таких як плани дій з використання біомаси. Вважається, що такі цілі є реально досяжними: 1% у 2010 році (що відповідає споживанню близько 2 млн. т.н.е.), 5% у 2020 році та до 10% у 2030 році.

В Україні існує небагато прикладів впровадження біогазових технологій у виробництво. Перша біогазова установка, що використовувала екскременти тваринництва, була побудована в 1993 році на свинокомплексі «Поріжсталі».

Згодом біогазові установки побудували компанії «Агрорен», «Еліта», Вознесенський коньячний завод та Українська молочна компанія».

Інші офіційні проекти в біогазовому секторі включали використання біогазу з полігонів зверху побудованих входів (ТПВ) на цеглині спорудах в Аруші, Львові, Миколаєві, Луганську та Києві.

Загалом в аграрній Україні налічується близько 10 біогазових заводів, жоден з яких не може досягти достатньої прибутковості без державної підтримки.

Той же час, потужний промисловий комплекс України, який виробляє велику кількість органічних відходів, генерує енергетичні ресурси, необхідні для виробництва біогазу, в обсягах, які могли б замінити 2,6 млрд м³ природного газу щорічно. При подальшому інтенсивному розвитку сільського господарства цей потенціал може зрости до 7,7 млрд. м³ природного газу на рік.

Потенційний обсяг ринку біогазу в Україні може бути реально освоєний лише до 2020 року. Одних лише тваринницьких екскрементів достатньо для будівництва приблизно 4 000 біогазових установок в Україні. Однак перешкодою для реалізації таких проектів на початковому етапі розвитку є впровадження відповідних «зелених» тарифів на електроенергію, вироблену з біогазу. Надалі паралельно з виробництвом електроенергії, можна використовувати нові технології виробництва біометану для заміщення природного газу. Крім необхідно розробити національний проект «Енергія біогазу», а також детально оцінити та визначити сектор біоенергетики та розвитку біогазу з боку держави.

Згідно з офіційними даними вартість виробництва електроенергії з біогазу порівнянна з вартістю виробництва електроенергії з інших відновлюваних джерел енергії і значно дешевша, ніж вартість виробництва електроенергії з сонячної енергії.

Собівартість виробництва електроенергії за кожною технологією у 200517, 2022 та 2030 роках та їх прогнози показані на рисунку 1.2.



Рис. 1.2 Собівартість та її прогнози виробництва електричної енергії за різними технологіями у 2007, 2022 та 2030 роках

Ми не погоджуємося з тезою аналітиків про те, що після закінчення дії зелених тарифів у 2030 році собівартість виробництва електроенергії з біогазу в Україні буде вищою за собівартість традиційного виробництва електроенергії з невідновлюваних джерел.

Для спростування таких тверджень на рис. 1.3 наведено фактичні статистичні дані щодо динаміки цін на традиційну електричну енергію та «зелені» тарифи на біомасу та біогаз в Україні за останні роки.

З цього рисунку можна зробити висновок, що за умови збереження тенденції зростання цін на електричну енергію роздрібною мережею електроенергії 2 класу наприкінці зрівняється із зеленим тарифом для біомаси приблизно у 2020 році, а у випадку біогазом - у 2022 році.

При цьому собівартість виробництва електроенергії з біогазу буде нижчою за собівартість виробництва електроенергії традиційних джерел енергії раніше, ніж у 2030 році (очікується у 2017 році).

У січні 2012 року Агентство з енергоефективності та енергозбереження України опублікувало пропозицію щодо перегляду стратегічного розвитку енергопостачання України до 2030 року в частині відновлюваної енергетики (Таблиця 1.2).

Таблиця 1.2

Пропозиції Держенергоефективності стосовно внесення змін в розвиток енергозабезпечення України до 2030 року в плані використання відновлювальних джерел енергії

Рік	Загальний рівень встановленої потужності відновлюваної енергетики, ГВт	Вітрові електро-станції, ГВт	Сонячні електростанції, ГВт	Малі гідроелектростанції, ГВт
2015	6	4	2,2	0,2
2020	9	6	3	0,4
2025	12	7	3,8	1,2
2030	17	8	4,6	2

Викликає здивування той факт, що всупереч європейським та світовим тенденціям розвитку відновлюваної енергетики, вищезазначені пропозиції взагалі не передбачають розвитку біоенергетики (у наведеній вище таблиці для неї навіть немає колонки).

Ці пропозиції демонструють упереджене та необ'єктивне ставлення Агентства до біоенергетичного сектору, шкодять національним інтересам України та є лобістськими з боку певних комерційних організацій. У цьому контексті упереджена позиція Агентства щодо «зеленого» тарифу на виробництво біогазу є випадковою.

1.3 Аналіз типових інвестиційних проєктів будівництва біогазових установ

У цій частині проаналізовано типовий інвестиційний проєкт будівництва біогазового заводу з різними структурами тарифів («зелений» тариф 175 копійок за кВт-год, «зелений» тариф 104 копійки за кВт-год та звичайний тариф 105

копійок за кВт-год). Було проаналізовано чотири ключові показники: внутрішня норма рентабельності проекту, дисконтований період окупності, нормальний період окупності та дисконтований кумулятивний грошовий потік.

Результати аналізу дисконтованих грошових потоків представлені на рисунку 1.3.1.3.

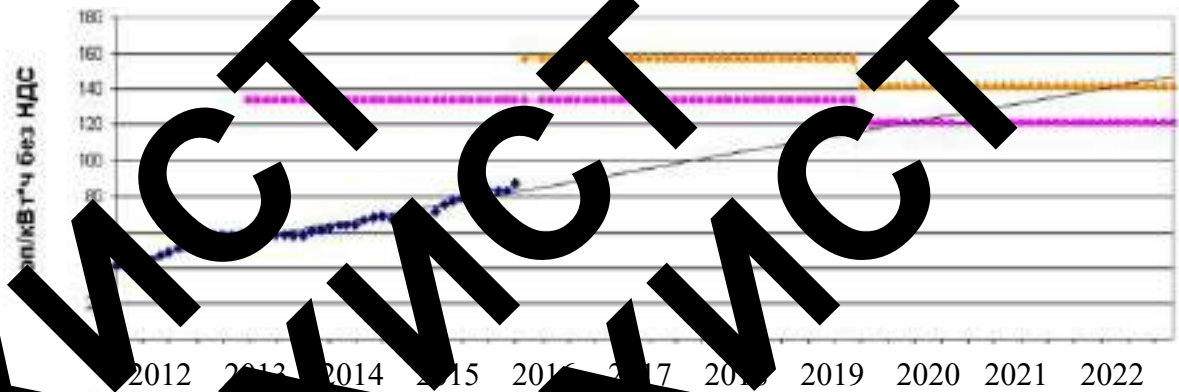


Рис.1.3. Динаміка змін тарифу на електроенергію для споживачів 2-го класу (традиційної електроенергії (нижня крива) і їх порівняння з зеленим тарифом для електроенергії, виробленої з біомаси (середня крива) та біогазу (верхня крива)

Як видно з рисунку, проекти з «зеленим» тарифом 105 коп/кВт-год мають від'ємні кумулятивні грошові потоки до 2042 року.

З іншого боку, грошові потоки проектів, змодельовані на основі «зелених» тарифів 134 коп/кВт-год та 175 коп/кВт-год, є привабливими для потенційних інвесторів, оскільки вони виходять з зони прибутковості на більш ранній стадії.

Аналіз показників внутрішньої норми прибутковості та терміну окупності проекту свідчить про те, що він є вищезазначеною основою.

Для «зеленому» тарифу 105 коп/кВт-год термін окупності проекту з нормою дисконтування 11% становить приблизно 30 років.

У той же час, запропоновані проекти з «зеленим» тарифом 134 коп/кВт-год та 175 коп/кВт-год мають термін окупності 13,0 та 8,5 років відповідно та норму прибутковості 19% та 21%.

Таким чином, можна зробити висновок, що реалізація проекту будівництва біогазового заводу за «зеленим» тарифом 105 коп./кВт-год для продажу електроенергії не є привабливою для інвесторів.

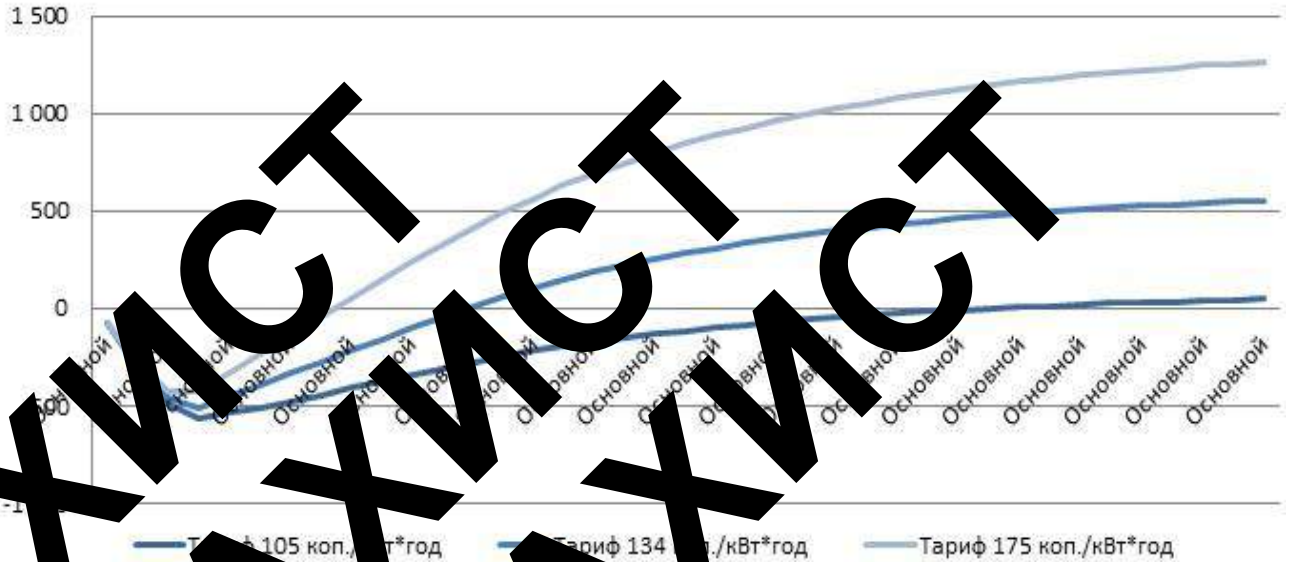


рис. 1.4. Моделювання кумулятивних грошових потоків для проектів будівництва біогазових заводів при умові дії величини різних зелених тарифів

В той же час, розробка та реалізація проектів за «зеленим» тарифом може залучити багато середньо- та довгострокових інвесторів для реалізації вищезазначених проектів.

Аналогічні розрахунки були зроблені для інших біогазових заводів для необхідних значень зеленого тарифу:

- Біогазова установка потужністю 40 кВт на синафемі (Таблиця 1.3);
- Система збору та переробки відходів у полігоні твердих побутових відходів міста з населенням 100 000 осіб (Таблиця 1.4).

Ціль: 20 000 ферм + 30 т/д курдючного силосу.

Інвестиції: 1,34 млн євро (~ 3000 євро/кВт-год).

Об'єм метану: 5000 м³.

Виробництво біогазу: 5,30 м³ тобу.

Виробництво біогазу на полігоні твердих побутових відходів у місті з населенням 100 000 мешканців.

Встановлена потужність: 380 кВт.

Інвестиції: 1,22 млн євро (~3 200 євро/кВт-год).

Виробництво біогазу: 4500 м³/добу.

Таблиця 1.3

Економічна ефективність проекту біогазової установки потужністю 440 кВт

Сценарії	1	2	3	4
Коефіцієнт зеленого тарифу	2	3	3	3
Вартість палива курудзи, грн/т	200	100	200	200
Реалізація надлишку теплоти від вироблення	0	0	12	0
Частка кредитного ресурсу в загальних інвестиціях, %	70	70	70	30
Дисконтований термін окупності, років	7,0	6,9	7,1	7,0

Таблиця 1.4

Економічна ефективність проекту будівництва системи збирання та утилізації біогазу на полігонах ТПВ для міста з населенням 100 тис. мешканців

Сценарії	I	II	III	IV	V
Коефіцієнт зеленого тарифу	2,5	2,7	2,7	3,0	3,5
Реалізація надлишку теплоти, %	50	40	20	10	0
Частка кредиту в загальних інвестиціях, %	50	50	0	0	50
Дисконтований термін окупності, років	8,3	8,4	9,4	7,7	8,6

При зелених тарифах $K=3,0$ та $K=2,7$ період окупності типового біогазового проекту становить 8-10 років.

Зелені тарифи на біогаз в країнах ЄС.

Зелені тарифи на відновлювану енергію наразі встановлюються у 21 країні ЄС та 4 країні світу.

У таблиці 1.5 наведено порівняння коефіцієнтів «зеленого» тарифу для біогазу в країнах ЄС з коефіцієнтами, встановленими для біогазу в Україні (коефіцієнти 2,0 та 2,7) в євроцентах/кВт-год.

Як бачимо, якщо в Україні встановлювалися «зелені» тарифи для біогазу з коефіцієнтами $K=3,0$ та $K=2,7$, то Україна могла б посісти шосте місце за

величиною цих «зелених» тарифів серед 10 країн ЄС з найкращими результатами у виробництві біогазу.

Іншими словами, «зелені» тарифи, що пропонуються для виробництва біогазу, мають середню ціну по ЄС.

Таблиця 1.5

Величини коефіцієнтів зелених тарифів для біогазу

Країна	ЗТ для біогазу, €/мін	Євроцентів/кВт·год
		max
Німеччина	7,3	28,67
Італія		28
Венгрія	17,13	22,14
Австрія	13	18,5
Чехія	14	17
Україна (К=2,0)		16,16
Україна (К=2,5)		14,54
Іспанія	8,6	14,11
Великобританія	10,5	10,36

За результатами Розділу 1 можна зробити наступні висновки
Проаналізовано основну нормативно-правову базу розвитку біоенергетики.

Представлено результати дослідження щодо глобального прогнозу розвитку відновлюваних джерел енергії.

Визначено сучасний стан та перспективи розвитку біоенергетики в Україні.

Проаналізовано типові інвестиційні проекти з будівництва біогазових установок.

Загальна частка відновлюваних джерел енергії наразі становить понад 9% в загальному енергопотребі країн ЄС. Основна мета - досягти 20% до 2020 року.

Внесок біоенергетики в загальний енергетичний баланс становить 107,1 млн тонн нафтового еквіваленту, що становить близько 70% від загального внеску ВДЕ в енергетичний баланс ЄС.

Інтенсивний розвиток та впровадження біогазових технологій в Україні може замінити 3-8 млрд. м³ природного газу на рік.

Для того, щоб зробити біогазові проекти цікавими для потенційних інвесторів, коефіцієнт «зеленого» тарифу повинен бути встановлений на наступному рівні:

$K = 3,0$ - електроенергія, вироблена з біогазу, отриманого з біомаси та сільськогосподарських відходів;

$K = 2,7$ - біогаз, вироблений з інших видів газу, крім з твердих побутових відходів (ТПВ), органічної частини ТПВ, стічних вод та осаду.

Задачами «зеленими» тарифами типовий біогазовий проект виглядає наступним чином:

- Типові біогазові проекти є декарбонними, з терміном окупності близько 7-10 років;

- Україна посідає шосте місце за рівнем тарифом серед 10 країн ЄС з найбільш розвинутою виробництвом біогазу. Таким чином, запроваджені зелені тарифи на біогаз будуть на середньому рівні 27 країн ЄС;

- Розвиток передових біогазових технологій зробить значний внесок в енергетичну самодостатність України, створить альтернативні газові ресурси, зменшить гостроту пікових навантажень в енергопостачанні та сприятиме розвитку регіональної економіки;

- Україна може одночасно підвищити рівень екологічної безпеки на більшій частині своєї території, розвиваючи виробництво електроенергії з біогазу та біогазину. Це пов'язано з тим, що відходи готлярництва, тваринництва, харчової та переробної промисловості вже зараз загрожують здоров'ю населення, екосистем ґрунту, повітря та підземних вод. Використання біогазових технологій є одним з основних і найбільш ефективних способів переробки органічних відходів.

- Перероблені відходи можуть стати цінним органічним добривом, покращити родючість та екологічну безпеку одного з найцінніших ресурсів країни - ґрунту, та підвищити конкурентоспроможність сільськогосподарської продукції;

- Будівництво біогазових заводів та супутньої інфраструктури, а також поступовий перехід до виробництва та використання власного обладнання може додатково стимулювати українську економіку. Інвестиції в цей сектор можуть сягнути 30 мільярдів гривень у довгостроковій перспективі;

- Необхідно розробити та затвердити національний проект «Енергія з біогазу»;

- Галузь біоенергетики та виробництва біогазу потребує державної підтримки.

РОЗДІЛ 2.

СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ ТА ЇХ
ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ

2.1. Загальна модель процесу утворення біогазу

Процеси виробництва біогазу (біогазові процеси) – біологічні процеси, які в першу чергу передбачають згорбне розкладання органічних речовин. Це означає, що субстрат розкладається за відсутності кисню.

Анаеробні мікроорганізми можна знайти в багатьох місцях в природі, де немає кисню для речовини органічних речовин. До них відносяться ґрунти та болота біля водойм (де світло – це біогаз), фекалії жуйних тварин та в біогазових процесах.

Біогазові процеси виробляють біогаз і залишки ферментації. Біогаз складається переважно з біогазу на енергію метану і вуглекислого газу, а також залишкових газів, таких як азот, сірководень і водяна пара. Залишки ферментації використовуються як органічні добрива за нормальних умов у природному кругообігу речовин.

Розкладання субстратів та органічних речовин відбувається взаємозалежно за допомогою різних мікроорганізмів (бактерій та архей). Мінералізація в метан є дуже ефективною, оскільки відносно мало організмів здатні виробляти енергію анаеробним шляхом. Як наслідок, розкладання відбувається швидше, ніж при компостуванні. Це відбувається швидше за рахунок відносно невеликої кількості організмів. Однак компостування не виробляє багатий на енергію метан у порівнянні з біогазом, який є первинним джерелом енергії.

Мікробну діяльність субстратів у біогазовому процесі можна розділити на наступні етапи: гідроліз, підкислення (ацидогенез), виробництво оцтової кислоти (ацетогенез), виробництво метану (метаногенез).

Мікроорганізми поділяються на мікроорганізми гідролізу-ацидогенезу, мікроорганізми ацетогенезу та мікроорганізми метаногенезу (бактерії та археї),

залежно від її продуктивності на певному етапі розкладання. На різноманітність, ріст і активність мікроорганізмів особливо впливають температура зброджування, рН, наявність поживних речовин, час перебування в резервуарі та інші фактори.

У методології та технічній практиці процес виробництва біогазу, в якому мікроорганізми здійснюють ферментацію, можна розділити на три температурні режими

- Термофільний температурний діапазон - приблизно 45-55°C;
- Мезофільний температурний діапазон - температури приблизно 30-44°C;
- Психрофільний температурний діапазон - температури нижче 30°C.

Зниження швидкості ферментації і виробництва біогазу, як правило, відбуваються швидше на вищих температурах, тому час перебування субстрату у ферментері можна відносно скоротити. Однак відносно низьке біорізноманіття в термофільному діапазоні температури робить термофільні процеси чутливими до температурних коливань. У мезофільному температурному діапазоні мікробне різноманіття є вищим, і процес більш стабільним.

Для гідролізуючих ацидофільних бактерій значення рН має бути в оптимальному діапазоні 4,7-7,0, тоді як для метаногенних архей оптимальним є діапазон 6,8-7,8.

Розщеплення і перетворення органічних речовин є спільним процесом між різними групами бактерій і архей. У цьому процесі великі органічні молекули розщеплюються на менші, простіші молекули, які перетворюються на метан і вуглекислий газ.

На першій стадії гідролізу великі органічні молекули, такі як вуглеводи, білки, жири та лігноцелюлоза, розщеплюються на менші фрагменти, такі як моносахариди (вуглеводи), амінокислоти, білки, тригліцериди, лігнін і цукри за допомогою ферментів, що виробляються мікроорганізмами. Навіть менші фрагменти, такі як моносахариди (наприклад, глюкоза), амінокислоти (наприклад, аланін), жирні кислоти або гліцерин, також частково утворюються.

Деякі реакції, в яких вуглець попередньо зв'язується або утворюється. Якщо вихідний продукт містить високий вміст сірки або кисню

(наприклад, рідкий гній, конюшина, білок у траві), може попередньо утворюватися сірководень або аміак. На цьому етапі лігнін не піддається подальшому розкладанню в анаеробних умовах. Тільки моносахариди лігноцелюлози можуть бути використані в їжу. На наступному етапі, підкислення (ацидогенезі), окремі цукри (моносахариди), амінокислоти і жирні кислоти розщеплюються гідролізуючими ацидофільними бактеріями і перетворюються на легкі леткі жирні кислоти, такі як валеріанова кислота (C5), масляна кислота (C4), пропіонова кислота (C3), молочна кислота (C3) і оцтова кислота (C2) спирти в воду. Гідроліз і виробництво кислот часто здійснюються мікроорганізмами безпосередньо один над одним. З цієї причини ці стадії не можуть бути розділені механічно або термічно. Насамперед, на стадії підкислення утворюються водень і вуглець, а також сірководень і аміак.

На наступному етапі (ацетогенезі) бактерії можуть перетворювати продукти реакції, такі як пропіонова і масляна кислоти, в оцтову кислоту для власного метаболізму, але з низьким рівнем виробництва енергії. Жирні кислоти розщеплюються на фрагменти шляхом ацидозу та ацетогенезу (синтетичного окислення жирних кислот), що є дуже енергоємним процесом і також призводить до утворення водню та оцтової кислоти, створюючи навантаження на систему.

Водень і оцтова кислота відіграють важливу роль, оскільки бактерії можуть продовжувати перетворювати і розщеплювати жирні кислоти тільки тоді, коли в середовищі існування бактерій дуже мало водню і оцтової кислоти (коли парціальний тиск водню і оцтової кислоти настільки низький і кінцеві продукти пригнічують їх).

Водень і оцтову кислоту з бактеріальної середовища видаляють гідрофобні (водень використовують) ацетолітичні (оцтову кислоту видаляють) археї, а також метаногенні археї з утворенням метану (метаногенез).

Водень та оцтова кислота є цінними речовинами для метаногенних архей. У палеотрофних архей, які утилізують водень, цей шлях формується з водню, вуглекислого газу та водяної пари.

В ацетолітичному шляху який розкладає оцтову кислоту, шлях утворюється з оцтової кислоти, водню, метану та вуглекислого газу.

У водневому шляху виділяється особливо велика кількість енергії. Ця енергія потрібна багато разів, оскільки бактерії розщеплюють жирні кислоти, де, як виявляється, реакція є енергетично виснажливою. Метаногенні археї діляться цією енергією з бактеріями, і їхня поведінка є майже симбіотичною, тому бактерії, які розщеплюють жирні кислоти, також називають евтрофними (живляться рясно).

Утворений CO_2 або карбонатна буферна система ($\text{HCO}_3^-/\text{CO}_3^{2-}$) легко створює рясне середовище (рН 6,8-7,8). Такого оптимального для метаногенних архей середовища метаногенез проходить оптимально.

Коли метаногенні археї живляться разом з мезотрофними бактеріями, ці два партнери часто зустрічаються в ко-клубонах. З цієї причини слід уникати інтенсивного перемішування у ферментері. Це пов'язано з тим, що це призводить до розплескування кліт, які працюють разом.

Всі процеси в БГУ протікають одночасно, але не з однаковою швидкістю. Стадія граничної швидкості виробництва біогазу може широко варіюватися в залежності від умов. Зокрема, целюлоза і геміцелюлоза, отримані з лігноцелюлози в рослинних компонентах, гідролізуються бактеріями дуже повільно. За наявності зв'язків, які легше розщеплюються, виробництво метану прирівнюється до етапу, що обмежує швидкість.

Різні мікроорганізми виробляють різну кількість метану на одиницю маси з різних складових субстратів, таких як вуглеводи, білки, жири та лігноцелюлоза. Вуглеводи дають біогаз з вмістом метану понад 50%, тоді чисті жири і білки дають більшу частку метану, одночасно багатий вмістом біогазу.

В цьому випадку гідролізуючі клітини утворюючі бактерії виробляють енергію занадто швидко, що призводить до занадто низьких для метаногенних архей значень рН, які можуть вичерпати їх буферну здатність і призвести до повної зупинки процесу.

Деякі речовини, такі як пірокатен і аміак, що утворюються з багатих на білки і жири субстратів (у високіх концентраціях і недоступні для нового

мікробного росту), можуть бути токсичними для мікроорганізмів, які беруть участь у деградації. Мікроорганізми можуть лише поступово звикати до високих концентрацій амонію/аміаку.

Слід також зазначити, що термофільна ферментація багатих на азот субстратів з більшою ймовірністю призводить до утворення токсичного аміаку (NH_3), ніж мезофільна ферментація, яка вже може пригнічувати процес, якщо навантаження в процесі є низьке.

Дезінфікуючі засоби та деякі антибіотики в інших добривах та інших продуктах також можуть мати негативний вплив. Якщо спостерігається затримка в рості, подування зупинки слід тимчасово призупинити.

Окрім того, не лише інгібітори негативно впливають на виробництво біогазу. Мікроорганізми, які беруть участь у процесі виробництва біогазу, потребують не тільки макроживних речовин, тобто основних поживних речовин з вуглеводів, білків і жирів, але й мікроживних речовин, таких як мінерали та вітаміни.

Макроелементи включають вуглець (C), азот (N), кальцій (Ca), магній (Mg), фосфор (P), натрій (Na), калій (K), хлор (Cl) і сірку (S). Фосфат, наприклад, необхідний для систем перетворення НАДФ і АТФ. Макроелементи в основному відповідають за виробництво клітинних речовин.

Деякі мікроелементи необхідні для мікроорганізмів. Основними мікроелементами є нікель (Ni), кобальт (Co), молібден (Mo), залізо (Fe) і селен (Se). Цинк (Zn), мідь (Cu) і магній (Mn) також важливі для багатьох бактерій. Мікроелементи необхідні як ферментні або кофакторні компоненти метаболічних процесів обміну речовин.

Залишки ферментації зазвичай утворюються як мінералізація з відносно складним шляхом розкладання органічних речовин, наприклад, лігноцелюлозних фракцій (які важко розкладатися), або неорганічних залишків (включаючи солі металів), якщо в технологічний ланцюжок функціонує ефективно. Залишки після ферментації дуже добре підходять як сільськогосподарські добрива завдяки високій кількості азоту, фосфору та калію. Це набагато краще альтернатива мінеральним добривам, оскільки частка мінералізованих поживних

речовин, які легко доступні рослинам, вища, ніж у сільськогосподарських добривах, які не пройшли анаеробну обробку.

Процес виробництва біогазу - це контрольований мікробіологічний процес розкладання органічних речовин з переважно відновлюваної сировини - рідкого гною, твердих добрив та біологічних відходів. Газ метан спалюється в двигуні і використовується як первинна енергія для виробництва електроенергії та тепла. На першому етапі процес відбувається в анаеробних умовах, а потім в анаеробних. Анаеробне розкладання, тобто розкладання під дією повітря або кислотних речовин, відоме як ферментація.

2.2. Сировина для виробництва біогазу

Німеччина є лідером у виробництві біогазу. Наприклад, приблизно 1 400 біогазових установок (BGU) у Баварії використовують переважно відновлювану сировину (NawaRo) та сільськогосподарські добрива.

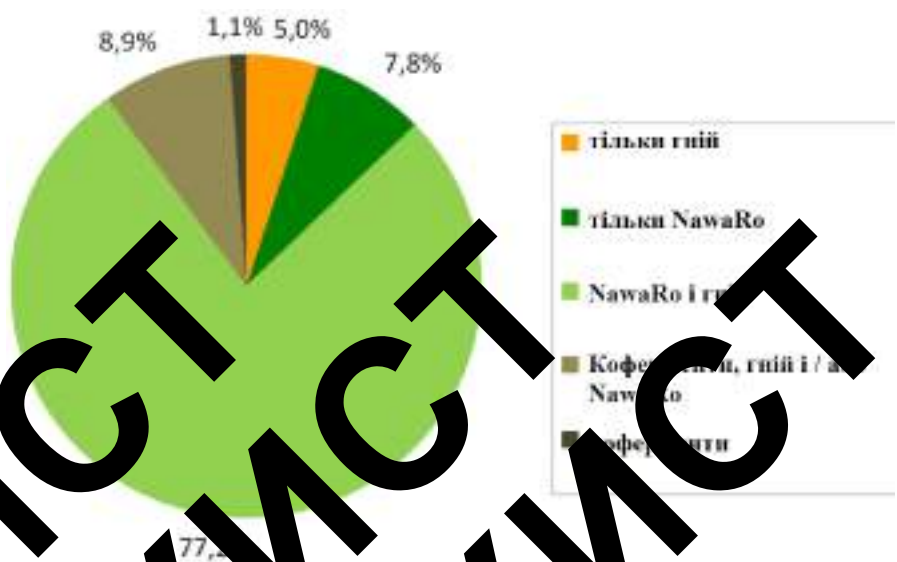


Рис.2.1. Використання субстратів у Німеччині

Дія законодавства про відновлювану енергетику (EEG, 2009) збільшила частку установок, що використовують рідкі та тверді добрива.

Близько 10% біогазових заводів використовують біологічні відходи як кофактор, а 1% заводів працюють виключно на сировині з огляду на вимоги законодавства щодо біологічних відходів.

У 2007 році 102 000 гектарів у Баварії були покриті відновлюваною сировиною для виробництва біогазу, що відповідає приблизно 3,2% всіх сільськогосподарських угідь Баварії. Площа орних земель, що використовується для цієї мети, відносно невелика, становить 4,2% від загальної площі орних земель в Баварії.

У 2007 році 60% використаної відновлюваної енергії припадало на кукурудзяні силоси. Інші культури, що використовувалися, включали зернові, трав'янисті посіви, силос з цілих рослин, соняшник і суданку та просо (Рис. 2.2).

У 2007 році підкормку великої рогатої худоби був основним сільськогосподарським добривом, що використовувався, на нього припадало 76% усіх добрив; у 2007 році це становило 5,4% усіх сільськогосподарських добрив на основі органічної великої рогатої худоби в Баварії. Інші добрива використовувалися від свиней та птиці.

Згідно з аналізом, субстрати мають різні пропорції жирів, білків і вуглеводів (у випадку з деякими речовинами). Окрім вмісту лігноцелюлози та видового складу мікроорганізмів, присутніх у біогазовому процесі, кожна з цих частинок є важливою для успішної ферментації процесу.

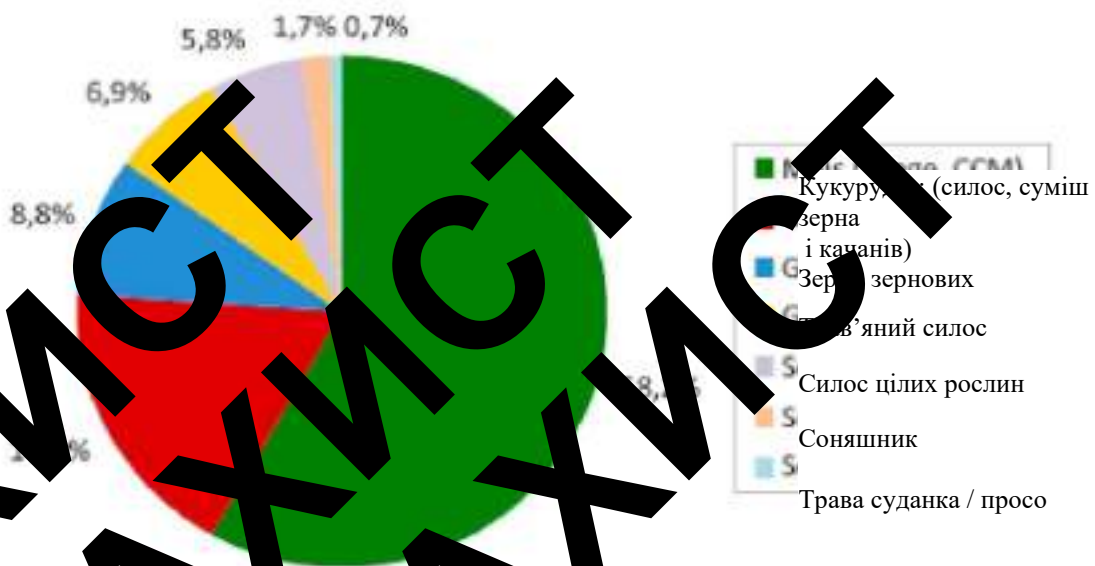


Рис. 2.2 Чистота виробництва відновлювальних видів сировини

2.3. Процес виготовлення біогазу

Ферментація органічних речовин до біогазу є послідовно анаеробною (без доступу повітря та кисню) на більшості етапів ферментації. У цьому процесі різні бактерії та археї взаємозалежно розщеплюють органічну речовину. Близько сьомої частини енергії може вироблятися в анаеробних умовах, але можливі й аеробні умови (з окислювним диханням) в анаеробному режимі бактерії та археї використовують менше енергії. Порівнявши з аеробним виробництвом, цей виробничий процес значно більш енергоємним.

Однак аеробне розкладання органічних речовин в основному здійснюється найпростішими і бактеріями (дихання). Наприклад, частина аерації при доступі кисню. В основному, при аеробному розкладанні менше організмів співпрацюють у ланцюгу розкладання і не так залежать один від одного, як при анаеробному. Деякі організми можуть виробляти більше енергії, і розкладання відбувається швидше. Однак при цьому не утворюються корисні енергоносії, такі як перетворення метану на біогаз. Неперетворена енергія біомаси втрачається у вигляді тепла, CO₂ (вуглекислого газу) та водяної пари.

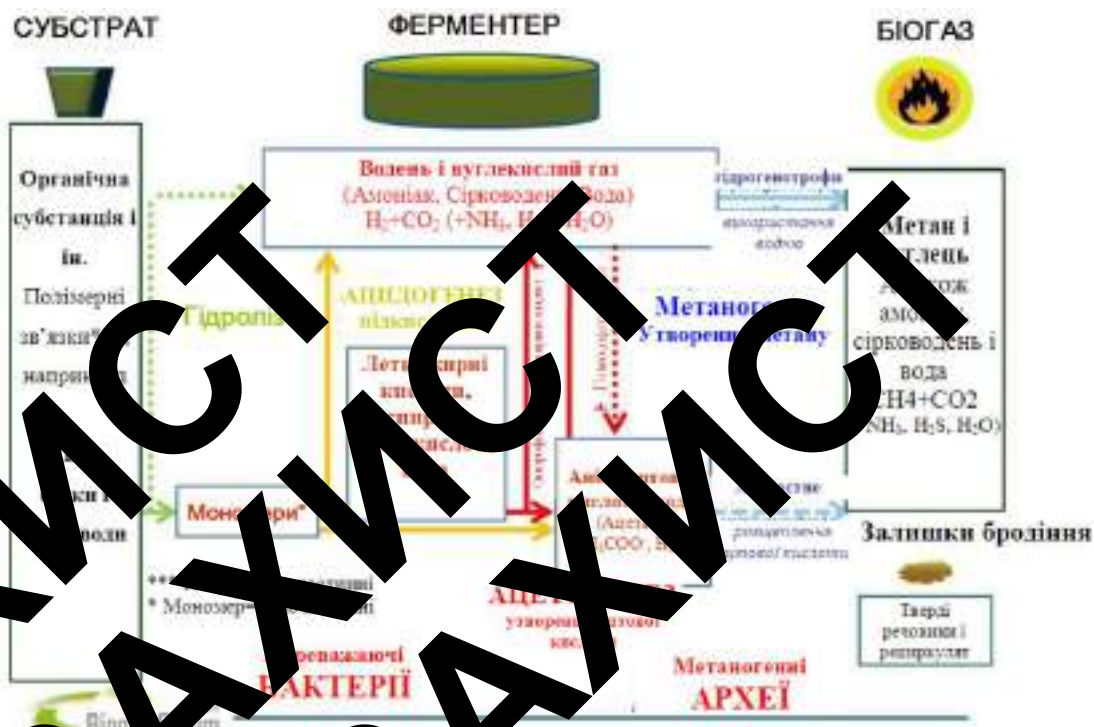


Рис. 2. Схema протікання біогаз-процесу

Перш ніж детально розглянути процес виробництва біогазу, спочатку представимо простішу модель (рис. 2.3). Біогазовий процес можна розділити на чотири реакційні блоки: гідроліз (розщеплення органічної речовини на дрібні частинки за допомогою води), кислотоутворення (підкислення або виробництво кислоти), ацетогенез (виробництво оцтової кислоти) і метаногенез (виробництво метану). У рядних заводських турбінах ці процеси відбуваються одночасно.

Гідроліз є першим етапом, званого гідролізом, хімічного розщеплення молекул при взаємодії з водою. Бактерії за допомогою ферментів руйнують складні органічні сполуки (наприклад, крохмаль), жири і білків. При цьому утворюються короткі предмети розпаду (олігосахариди та мономери), переважно цукри, амінокислоти та жирні кислоти.

Важливо зазначити, що чітке визначення хімічного гідролізу не охоплює технічну концепцію гідролізу як окремого етапу в роботі заводу. При біохімічному гідролізі практично не утворюються кислоти або гази. На «стадії гідролізу» біогазової установки з водню (H_2) і вуглекислого газу (CO_2) утворюються гази гідролізу, а також більшість органічних кислот і спиртів. На цій «стадії гідролізу» утворюється більшість кислот.

Ацидогенез. Під час фази підкислення (ацидогенезу) з продуктів гідролізу (переважно цукрів, жирів і білків) утворюються водень, вуглекислий газ, спирти і жирні кислоти.

При використанні етерифікованих жирів (наприклад, ріпакової олії) або багатих на білок субстратів (наприклад, коношини) результатом ацидогенезу утворюється сірководень (H_2S) а з азотних зв'язків - аміак (NH_3), які є токсичними для здоров'я людини, навколишнього середовища і самого процесу. Потенціал

Індикатором стабільності процесу є наступні етапи ацетогенезу і метаногенезу, протікають неефективно, є підвищене утворення пропіонової кислоти (сполука C_3), ізомасляної кислоти (сполука C_4), ізовалеріанової кислоти (сполука C_5), капронової кислоти (сполука C_6) і енантату (сполука C_7).

Виробництво оцтової кислоти. Під час утворення оцтової кислоти (ацетогенезу) продукти ацидогенезу перетворюються на ще менші молекули. Насамперед утворюється оцтова кислота (оцтова кислота = ацетат-аніон), водень і вуглекислий газ. Ацетобактерії або синтетичні бактерії далі розщеплюють жирні кислоти, наприклад, за допомогою реакцій окислення або більш складних реакцій.

Використання жирних кислот проблематичне, оскільки вимагає використання енергії. Реакція може протікати у зворотному напрямку лише тоді, коли кінцевий продукт можна добути з рівняння реакції, додавши до нього «наступний» (метаногенні археї). Жирнокислі бактерії, ацидофіли та метаногенні археї об'язані взаємозалежності. Ця тісна залежність, близька до симбіозу, відома як «ентрофія».

За вищих температур і нижчого тиску «енергетична гора» також нижча, а реакції ефективніші. Термофільні мушкетери в зоні температур.

Виробництво метану на заключній стадії метаногенезу (утворення метану) метаногенні археї перетворюють переважно оцтову кислоту, водень і вуглекислий газ на вуглекислий газ, метан і воду.

У сільськогосподарських біогазових установках це відбувається в основному за допомогою водневої реакції (утилізація водню), з більшим внутрішнім навантаженням, коротшим часом перебування і вищими температурами, що суперечить попереднім науковим даним.

Оцтова кислота рідко розкладається безпосередньо на вуглекислий газ і метан (розкладання оцтової кислоти, шляхом розщеплення оцтової кислоти), але спочатку розкладається на водень і вуглекислий газ, який потім перетворюється на біогаз шляхом метаногенезу з водневим живленням.

Виробництво метану в результаті розщеплення оцтової кислоти відбувається в значно меншій мірі лише тоді, коли внутрішнє навантаження відносно низьке, час перебування в резервуарі тривалий і вміст оцтової кислоти низький. Метаногенез є енергетичним процесом, що дозволяє здійснювати найбільш енергетичні реакції - виробництво оцтової кислоти та синтетичне окислення оцтової кислоти.

Склад мікробіоти в БГУ може суттєво відрізнятись. Зокрема, на нього впливають відповідні вхідні матеріали (субстрати) та умови процесу, такі як температура і час перебування в резервуарі. Виходячи з різноманітності (гетерогенності) та мінливості біологічної спільноти, деградація субстрату може бути досягнута різними методами (метаболічними шляхами). Зокрема, широкий спектр метаболічних шляхів і проміжних продуктів можливий на часткових стадіях гідролізу та утворення кислот.

Систематичні дослідження деградації конкретних речовин або груп речовин у біогазових процесах все ще існують, в основному для анаеробного очищення стічних вод, ферментації осаду стічних вод та біовідходів. Особливі умови польськогосподарських біогазових установках все ще погано вивчені в багатьох аспектах механізму деградації певних груп речовин, перелічених нижче, спочатку розглядаються як докази.

Розкладання вуглеводів (наприклад, цукрових буряків, картоплі, суміші качанів, зернових) є швидко джерелом енергії. Вуглеводи можуть бути присутніми в біогенній сировині у вигляді моносахаридів (моносахаридів) або полісахаридів. Полісахариди - це поєднання двох (димери) або більше (олігомери) до дуже великої кількості (полімерних) одиниць моносахаридів. Найпоширенішими моносахаридними компонентами в моносахаридних субстратах біологічного походження є глюкоза, фруктоза і ксилоза. Сахароза - це дисахарид (димер) фруктози і глюкози, який міститься у вигляді розчинного цукру в рослинах, включаючи цукровий буряк, цукрову тростину і солодке сорго. Крохмаль є важливим матеріалом для зберігання в тваринних продуктах харчування, як зернові, цукрувані зерна та картопля. Крохмаль складається з великої кількості одиниць глюкози, зв'язаних з довгими полімерними ланцюгами. Існують лінійні (амілаза) та розгалужені (амілопектин) форми. Інші полісахариди включають, наприклад, геміцелюлозу та целюлозу. Вони найпоширеніші в рослинних складних вуглеводах.

Целюлоза, як і крохмаль, складається виключно з глюкози. Однак целюлоза складається виключно з дуже довгих лінійних ланцюгів, що містять до 10 000 глюкозних одиниць. Крім того, глюкозні ланки крохмалю з'єднані між

собою по-різному. Через різні типи зв'язку існують значні відмінності у властивостях обох речовин.

Геміцелюлоза - це цукор з розгалуженим ланцюгом, довжина якого набагато коротша, ніж у целюлози. На відміну від крохмалю та целюлози, геміцелюлоза складається з різних моносахаридів. Основним компонентом більшості геміцелюлоз є ксилоза. Інші моносахариди геміцелюлози разом з лігніном утворюють основний компонент лігноцелюлози - решітчастого матеріалу клітинних стінок рослин.

Моносахариди та багато коротколанцюгових полісахаридів (олігосахаридів) поглинаються і метаболізуються ферментуючими організмами безпосередньо в клітинах. Полісахариди, такі як крохмаль, спочатку повинні бути гідролізовані до розщеплення зв'язанням води. Гідроліз відбувається в місцях зв'язування компонентів глюкози, так що моносахариди - глюкоза у випадку крохмалю утворюються як основний продукт гідролізу. Гідроліз цукрів біохімічно каталізується ферментами (гідролазами), що виробляються мікроорганізмами. У процесі виробництва ферментів мікроорганізмами споживається енергія. Виробництво енергії відбувається в основному на наступному етапі виробництва (окислення) кислоти. Гідроліз і виробництво кислоти здійснюються в значній мірі одними і тими ж мікроорганізмами і технічно не розділені. Це стосується не тільки вуглеводів, але й гідролізу інших груп речовин.

Цукрові компоненти, отримані в результаті гідролізу, всмоктуються мікроорганізмами в клітину і далі метаболізуються всередині клітини. Внутрішньоклітинна деградація з утворенням кислот може відбуватися під впливом певної кількості середовища та мікроорганізмів, що беруть участь у різних метаболічних шляхах. В результаті утворюється вуглекислий газ (CO_2), органічні кислоти (оцтові кислоти), а також і в деяких випадках, інші продукти (рис. 2.4).

Для стабільності біогазового процесу бажано, щоб оцтова кислота переважно розщеплювалася, а продукти реакції могли бути перетворені безпосередньо в метан в результаті цього процесу ферментації. Одна молекула

глюкози утворює чотири молекули водню (H_2) на додаток до оцтової кислоти і вуглекислого газу. Під час окислення глюкози електрони, що вивільняються, передаються водню і ліквідуються. Ця передача відбувається тільки в тому випадку, якщо вміст водню у збродженуваному матеріалі, виражений як парціальний тиск водню, є досить низьким.



Рис. 2.4. Спрощене розщеплення вуглеводів

Крім оцтовокислої бродіння, можна ввілітити різні інші метаболічні шляхи утворення оцтової кислоти з вуглеводів, такі як спиртове бродіння, бродіння масляної, пропійонової та валеріаної кислот, молочної кислоти (наприклад, пропійонова, масляна, молочна та бурштинова кислоти (наприклад, етанол, бутанол та ізопропанол), утворення інших продуктів. Утворенню таких продуктів, як правило, приляють вищий парціальний тиск водню і нижчий рН.

Завдяки утворенню карбонатних кислот, кислотне утворення вуглеводів має тенденцію (абсолютна тенденція) до зниження значення рН в кислу область. На

практиці існує ризик підкислення біогазового процесу в ферментері, якщо подається зброджуване вуглеводневе завантаження.

Продукти оцтової кислоти, вуглекислий газ і водень від виробництва кислоти можуть бути перетворені безпосередньо в біогаз ($\text{CH}_4 + \text{CO}_2$) шляхом гетеротрофного або оцтовокислого метаногенезу. Решта карбонових кислот, спиртів та інших кислотних продуктів повинні бути розщеплені до речовин, які можуть бути перетворені в метан шляхом ацетогенезу, в основному до оцтової кислоти і CO_2 . Наприклад, коли карбонові кислоти розщеплюються синтетичними бактеріями, в основному утворюється H_2 . Таку деградація може відбуватися лише за парціального тиску водню настільки низького для того, щоб мікроорганізми могли виробляти енергію. Особливо важливим є складання пропіонової кислоти, яке відбувається за дуже низького парціального тиску водню. Зі збільшенням парціального тиску водню у зброджуваному матеріалі не слід очікувати значного зменшення пропіонової кислоти і, можливо, інших карбонових кислот (наприклад, масляної та валеріанової). Це може статися, якщо метаногенез порушений, а водень, що утворюється, не метаболізується швидко, повністю і адекватно.

Вміст пропіонової кислоти, співвідношення оцтової кислоти до пропіонової кислоти та інших карбонових кислот у збродженому матеріалі (пюре) є важливими показниками для оцінки стабільності процесу ферментації. Це стосується не тільки розщеплення вуглеводів, але і, в принципі, ферментації інших груп речовин, описаних нижче. Аналіз оцтової, пропіонової та інших карбонових кислот («легких жирних кислот»), таких як масляна, ізомасляна, валеріанова, ізовалеріанова, капронова або енантатна (або птанова) кислоти у ферментованих речовинах може бути виконаний у відповідним чином обладнаній лабораторії.

Продукти розщеплення білків (наприклад, конюшина, трав'яний силос, житній силос з цільної трави) є джерелом енергії. Білки є найважливішими складовими тваринних і рослинних тканин, наприклад, м'язів. Вони також є основним компонентом скелета ізованих тканин тварин, таких як пір'я та волосся.

Ферменти також класифікуються як білки, і їхня дія уможливлює метаболічні процеси в живих системах.

Білки - це макромолекули, що складаються з полімерно зв'язаних амінокислот. Всі амінокислоти мають кислотну групу та сусідню аміногрупу, але їхня структура відрізняється. У білках амінокислоти пов'язані з довгими полімерними ланцюгами. Тип і послідовність включених амінокислот варіюється. Як наслідок, можлива велика кількість послідовностей амінокислот, що призводить до утворення різних білків з дуже різними структурами та властивостями. Анаеробна дегретація білків (рис. 2.15) починається з гідролізу різними ферментами (протеазами) з утворення амінокислот з короткими фрагментами ланцюга (двох або більше амінокислот (дипептидів, трипептидів)). Субстративний гідроліз розриває зв'язки між сусідніми амінокислотами в білковому ланцюзі.



Рис. 2.15. Спроста розщиплення білків

Вивільнені NH₃ з утворення жирних кислот і CO₂ буферизує рН і стабілізує середовище до нейтральної або слабколузної. На відміну від перетравлення

вуглеводів, перетравлення білків, як правило, не призводить до закислення ферментованих матеріалів; основні значення рН до 8 або 9 є дуже поширеними; рН ферментованого матеріалу, як правило, нижчий, ніж рН вуглеводів. Наприклад, оптимальне значення рН для гідролізу і підкислення стічних вод, багатих на білок, становить понад 7.

Під час мікробного розщеплення цих амінокислот органічно зв'язана сірка розчиняється у ферментаційній рідині у вигляді сульфідів (S^{2-}); S^{2-} , як і HS^- , гідролізується до H_2S (сірководень) і виділяється з ферментаційної рідини у вигляді біогазу.

Також чинить у біогазовому процесі більша частка субстратів, багатих на білок, призводить до підвищення концентрації аміаку у ферментаційній рідині, збільшення вмісту NH_3 (сірководню) та NH_3 (аміаку) у біогазі та збільшення вмісту метану у вигляді багатого на вуглеводі суміші.

Важливим для виробників біогазу є високий вміст NH_3 у ферментері (близько 100-200 мг/л) може гнібувати процес ферментації. При ферментації субстратів з високою часткою трав, особливо конюшини, такі концентрації аміаку легко досягаються, особливо при високих навантаженнях в приміщенні, і викликають зниження виробництва біогазу, що не завжди супроводжується низькими значеннями рН і високим вмістом кислоти. Більше інформації про це можна знайти в публікації Баварського біогазового форуму «Порушення біологічних процесів в установках NAWARO (<http://www.biogas-forum-bayern.de/publikation/Prozessbiologische-Storungen-in-Nawaro-Anlagen.pdf>)».

Зброджування жирів (наприклад, соняшникової) - збагачений метаном біогаз. Жири (ліпіди) зустрічаються в природі переважно у формі тригліцеридів (тригліцеридів), фосфоліпідів і гліколіпідів. Тригліцериди є типовими запасними речовинами, присутніми в рослинах, таких як рослинні олії та насіння, а також у тварин і мікроорганізмів. Природні тригліцериди складаються з трьох молекул гліцерину, пов'язаних з різними довголанцюговими жирними кислотами, так званими жирними зв'язками. Довжина ланцюгів залежить від кількості атомів вуглецю (C), пов'язаних один з одним. Як правило, це від 12 до 24 атомів вуглецю (C12 - C24). До важливих жирних кислот

належать, наприклад, олеїнова (C18), стеаринова (C18) або пальмітинова (C16) кислоти, які містяться в багатьох рослинних оліях. Фосфоліпіди та гліколіпіди - це не речовини для зберігання, а функціональні компоненти клітин, наприклад, складові біологічних мембран. На відміну від тригліцеридів, вони містять азот, фосфор і фосфоліпіди.

Жири гідрофобні і нерозчинні або майже нерозчинні у воді. Для швидкого гідролізу жирних кислот необхідна достатня кількість місць корозії для відповідних ферментів. Це вимагає допомоги більшої площі контакту між жиром і водною фазою, наприклад, шляхом емульгування жиру, чому сприяють природні поверхнево-активні речовини (біотензори), що містяться в осаді ферментів. Гідроліз тригліцеридів відбувається з допомогою ферментів, таких як ліпази. Ліпаза риває ефірні зв'язки між гліцерином і жирними кислотами, при цьому гліцерин і жирні кислоти утворюються як продукти гідролізу. Фосфоліпіди і гліколіпіди вивільняють фосфати і продукти гідролізу, що містять азот і цукор.

Розщеплення жирів у біогазовому процесі схематично показано на рисунку 2.6.



Рис. 2.6. Спрощене розщеплення жирів

Лігніноцелюлоза, основний компонент рослинних клітин, являє собою складну структуру, що складається з целюлози, геміцелюлози та лігніну. Ця речовина становить близько 80% сухої маси рослин і є потенційним джерелом для виробництва біогазу. Прикладами лігніноцелюлозних субстратів є стебла рослин, трави та солома.

Складність розробки лігніноцелюлози полягає в її стійкості до розкладання. Гідроліз, тобто розщеплення полімерних ланцюгів, є найповільнішим етапом анаеробного розщеплення. Це пов'язано з тим, що лігнін, що входить до складу лігніноцелюлози, ускладнює доступ ферментів до целюлози та геміцелюлози.

Лігнін виконує захисну функцію в рослин, запобігаючи їх швидкому розкладанню. Він є біологічно стійким, що робить лігніноцелюлозу важко розчинною в анаеробних умовах. Тому субстрати з високим вмістом лігніну, такі як деревина, рідко використовуються в процесі виробництва біогазу.



Рис. 7. Схематичне розщеплення лігніноцелюлози

Для успішного функціонування біогазової установки мікроорганізмам необхідні не лише вуглеводи, жири та білки, а й мінеральні речовини. Ці елементи, поділені на макро- та мікроелементи, не виробляються мікробами самостійно, а тому повинні надходити ззовні.

Збалансоване співвідношення поживних речовин має вирішальне значення для ефективного процесу бродіння. Дефіцит будь-якого елементу може призвести до уповільнення метаболічних процесів, а надлишок - до токсичного впливу на мікроорганізми. Джерелом мінеральних речовин є сировина, рідкий гній та відходи бактерії.

Макроелементи, такі як вуглець, азот, фосфор та сірка, складають основу організму тварин. Вони необхідні для побудови клітинної субстанції та синтезу ферментів. Оптимальне співвідношення C/N/P у ферментері є важливим для ефективного живлення мікроорганізмів.

Мікроелементи, такі як калій, кобальт, молібден, залізо та селен, необхідні для функціонування ферментів та коферментів. Вони беруть участь у метаногенезі, транспортуванні електронів та утворенні АТФ. Недостатня кількість мікроелементів може призвести до зниження виробництва біогазу та збільшення концентрації жирних кислот.

Склад біогазу залежить від виду сировини. Основними компонентами є метан та вуглекислий газ. Додатково присутні вода, сірководень, аміак, водень, оксид вуглецю та інші домішки.

Залишки бродіння, багаті на азот, фосфор та калій, можуть бути використані як цінне гнійне добриво.

Детальніше про порушення процесу бродіння та рекомендації щодо їх усунення можна знайти у публікації Біогаз форум Баварії.

2.4. Техніко-економічне обґрунтування самокупності ферми для утримання великої рогатої худоби та продукції виробництва біогазу

Розробка ефективних методів виробництва біопалива з гною тварин відкриває нові перспективи, але водночас ставить перед дослідниками низку важливих питань.

По-перше, постає потреба у великих спеціалізованих тваринницьких комплексах, які б забезпечували достатню кількість сировини для переробки. По-друге, необхідне обладнання для перетворення гною на біогаз та генерації електроенергії. По-третє, важливим є впровадження ефективних систем видалення гною з приміщень. По-четверте, потрібні цистерни зберігання біогазу та генератори для його перетворення на електроенергію. Нарешті, необхідно впровадження оптимальних систем, адаптованих до використання біогазу.

Впровадження біогазових установок у тваринницьких господарствах має низку переваг. Це збільшення енергетичної незалежності, отримання якісних органічних добрив, зниження ризику забруднення ґрунту, підвищення продуктивності тварин та покращення умов їх утримання.

Таким чином, наукові дослідження, спрямовані на створення замкнутої системи самозабезпечення тваринницьких підприємств, є надзвичайно актуальними і сприяють підвищенню ефективності як тваринництва, так і рослинництва.

Для обґрунтування потужності фермерського підприємства слід розрахувати чисельність населення в районі його дії:

$$Q = Q_n \times (1 + k)^t \times 100 + Q_{\text{н}} \quad (2.1)$$

де Q – чисельність населення, чол.;

Q_n – чисельність населення на момент створення техніко-економічного обґрунтування, чол.;

k – коефіцієнт приросту населення, (14), %;

t – період часу прийнятого за техніко-економічного обґрунтування (ТЕО) на перспективу, рік.

$Ч_M$ – чисельність приросту населення (різниця між прибулими та вибулими), чол.

На основі чисельності населення на перспективу проводимо розрахунок потреби в молоці та м'ясі. Дані розрахунки необхідно проводити при врахуванні норм споживання на одного споживача на базі рекомендацій інституту гігієни та харчування МОН України, кг/рік:

- молочної продукції 262 кг/рік, в тому числі: молоко збіране – 60, молоко збіране – 65, масло – 5, жир м'який – 10, сир твердий – 6, сметана – 5; м'ясної продукції 83 кг / рік в тому числі: яловичини – 20, свинини – 20, баранини – 2, м'ясо птиці – 10, ковбасні вироби та м'ясо чеченські – 18, шпику – 3, субпродукти 11 категорії та інші вироби – 3 кг.

$$P_i = Ч \times H \quad (2.2)$$

де P_i – потреба населення в м'ясі (або молочних продуктах), т/рік;

H – норма споживання м'яса (або молочних продуктів), кг/рік.

Виходячи із нормативних показників забійного виходу та річної потреби (P) розраховуємо необхідну живу масу тварин, які направлені на забій (ф. 2.3).

Далі розраховуючи середньорічний надій по породі – 4200 кг молока, живу масу середньостатистичну – 400 кг.

Розраховуємо кількість голів, що реалізуються на забій та кількість середньорічних дійних корів;

$$Ж_M = P \times 100 / 70, \quad (2.3)$$

де $Ж_M$ – жива маса, яка необхідна для забезпечення населення яловичиною, кг;

100 – відсоток переробки, %

70 – відсоток виходу з яловичини від живої маси худоби, жива маса ($Ж_{M1}$) –

400 кг, %

$$\Gamma = ЖМ / Ж_{М1}, \quad (2.4)$$

$$\Gamma = П_{мол} / P_H, \quad (2.5)$$

де Γ – кількість голів корів, гол;

$Ж_{М1}$ – жива маса однієї середньостатистичної корови, кг;

$П_{мол}$ – потреба в молоці, кг;

P_H – річний надій за годую, кг.

Розрахунок використання виходу екскрементів:

$$В_е = \Gamma \times Н_е, \quad (2.6)$$

де $В_е$ – вихід екскрементів, кг;

$Н_е$ – норма виходу екскрементів, кг / добу.

Розрахунок виходу для виробництва біогазу:

$$В_б = В_е \times Н_б, \quad (2.7)$$

де $В_б$ – вихід біогазу, м³;

$Н_б$ – вихід біогазу з одного 1 кг органічних добрив – 0,45 м³.

Розрахунок виходу для виробництва електроенергії:

$$В_{ел} = В_б \times Н_{ел}, \quad (2.8)$$

де $В_{ел}$ – вихід енергосіїв, кВт;

$Н_{ел}$ – вихід електроенергії при переробці одного 1 м³ біогазу – 2 кВт.

Розрахунок виходу тепла:

$$В_{тл} = В_б \times Н_{тл}, \quad (2.9)$$

де $В_{тл}$ – вихід тепла, МДж;

$Н_{тл}$ – нормативний показник виходу теплової енергії з 1 м³ біогазу – 21 МДж.

Згідно даних матеріалів відомчих норм технологічного проектування підприємств встановлена загальна кількість місць для утримання худоби та

отримані дані використання для розрахунків кількості корів у стаді, а також розрахункових коефіцієнтів (табл. 2.1).

Виходячи з цього поголів'я, для розрахунку об'єму екскрементів враховується добове виділення сечі та фекалій.

Добовий вихід гною, кг: бички - бугаї - 40, телиці - 55, нетелі - 28, молоді бички - 24, телята до 6 місяців - 7,5, телята до 2 місяців - 4,5.

Норма підстилки (кг/добу): бички - 1,5, нетелі - 1,5, телиці - 0,5, молодняк і телята до 6 місяців - 5, телята до 2 місяців - 2,5.

Таблиця 2.1

Розрахунок кількості місць для корів на фермі

Категорія тварин	Коефіцієнт при розрахунку структури корів, %			Кількість місць для корів
	50	70	90	
Корови:				
дійні	1,0	1,0	1,0	200
суходійні	0,75	0,75	0,75	150
глибоко тілі	0,13	0,13	0,13	26
глибоко тілі	0,12	0,12	0,12	24
Нетелі(2 міс. до отелів	0,12	0,12	0,12	24
Телята профілактичного періоду	0,12	0,12	0,12	24
Телята до 6-місячного віку	0,6	0,6	0,6	120
Молодняк	0,45	0,45	0,45	90
Всього	2,29	1,84	1,44	458

Згідно з рекомендаціями нормативного технічного проекту (НТП - АПК - 09.06), ефективною буде будувати власну біогазову установку, яка може давати 0,31-0,62 м³ газу на кілограм метану 50% з 1 кг органічної речовини від ВРХ.

Варіант розрахований на основі того, що 1 м³ біогазу з генератора дає 8 кВт електроенергії або 21 МДж тепла.

Загальний добовий вихід енергії від великої рогатої худоби (Таблиця 2.2).

З таблиці 2.2 видно, що 458 корів можуть виробляти 16,3 тонни гною на день.

У процесі переробки гною утворюється 7367 м³ біогазу, з якого виробляється 14730 кВт електроенергії та 154730 МДж тепла.

Велика рогата худоба на фермі утримується в чотирьох будівлях розміром 12 x 72 м, з внутрішньою площею 768 м² на будівлю і загальною площею 3072 м², що означає, що для освітлення потрібно 96 ламп, по 24 на будівлю (100 Вт). Технічні процеси вимагають 6 годин на день для виконання різних завдань. Споживання електроенергії становить 100 кВт або 2073,6 МДж на добу.

Таблиця 2.2

Додатковий вихід електроенергії з тваринницької ферми

Група тварин	Вихід гною, кг	Вихід біогазу м ³	Вихід електроенергії, кВт/м ³ біогазу	Вихід тепла, МДж/м ³
Гадючки	84	38	75	785
Корови	1135	500	10200	107000
Пелелі	685	308	616	6470
Молочні до року	2620	1175	2350	24680
Телята до 6-и місяців	1550	670	1380	14180
Телята до 3-х місяців	182	82	164	1705
Всього	16380	7370	14730	154730

За один цикл біогазова установка виробляє 154730 МДж теплової енергії.

Біогазова установка витрачає 15% виробленої енергії.

Таким чином, $154730 \times 15 : 100 = 23189,5$ МДж.

Залишок енергії (ЗЕ) для технічної експлуатації виглядає наступним чином:

$$\text{Зен.} = 154730 - 23189,5 = 131540,5 \text{ МДж.} \quad (2.10)$$

Ціна газу за останні роки підвищилася практично у 3,5.

Розрахунок необхідний об'єм біореактора для ферми із 200 корів при утриманні тварин в зимовий період:

$$V = 100 \times Q_d : D = 100 \times (125,2 \times 4) : 80 = 626 \text{ м}^3, \quad (2.11)$$

де V - робочий об'єм реактора, м^3 ;

Q_d - добова кількість маси із виходу сировини, $\text{м}^3/\text{добу}$;

D - доза завантаження за об'ємом, %.

Розрахунок дози завантаження гною:

$$D_{op} = Q \times D \times (100 - S) \times (100 - W) : 100 \quad (2.12)$$

де Q - кількість біомаси в робочому об'ємі, т;

D_{op} - дози завантаження за об'ємом гною беззольною речовиною ($\text{кг}/\text{м}^3$);

S - відсоток вологості і зольності біомаси, %.

$$D_{op} = (0,313 \times 4) \times 80 \times (100 - 90) \times (100 - 15) : 1000 = 85 \text{ кг}/\text{м}^3.$$

Враховуючи ефект енергетичного балансу біогазової установки після відрахування енерговитрат на технологічні потреби:

$$\begin{aligned} \Delta E_{BPH} &= (53137,9 - 641,2 * 90 + 1,098 * (90 * 90)) * 626 * 0,08 - \\ &= (350,982 + 1,0358 * 90 - 3,64 * 8,1) * (80 * 0,8 + 3) * 5,7 = \\ &= 58149 \text{ МДж/добу} \end{aligned} \quad (2.13)$$

де Q_d - добова кількість вихідної сировини, $\text{т}^3/\text{добу}$;

Q - кількість біомаси в робочому об'ємі, т;

D - доза завантаження (80%), %;

S - відсоток вологості і зольності біомаси, %.

Другий розділ дослідження присвячений аналізу сучасних технологій виробництва біогазу та їх економічної ефективності. В ньому представлена загальна модель процесу утворення біогазу, визначено основні види сировини та етапи виробництва: гідроліз, ацидогенез, ацетогенез та метаногенез.

Детальніше розглянуто розщеплення різних груп речовин, таких як вуглеводи, білки, жири та лігніноцелюлоза, а також роль макро- та мікроелементів у забезпеченні життєдіяльності мікроорганізмів.

Проведене техніко-економічне обґрунтування доводить можливість самозабезпечення ферми з поголів'ям 458 голів великої рогатої худоби енергоносіями, отриманими з гною. Розраховано оптимальний об'єм біореактора (626 м³) та енергетичний баланс біогазової установки (581 кВтМДж/добу).

Представлена методика техніко-економічних розрахунків підтверджує доцільність використання екскрементів для виробництва біогазу та органічних добрив.

Виробництво біогазу є перспективним напрямком у сфері біоенергетики, поряд з виробництвом біодизелю та біоетанолу. Воно має низку переваг, таких як низька собівартість сировини, можливість децентралізації виробництва та широкий спектр застосування.

Біогаз може використовуватися для виробництва електроенергії, тепла, а також як паливо. Його виробництво сприяє зменшенню енергетичної залежності, створенню нових робочих місць та покращенню екологічної ситуації в Україні.

НАПРЯМКИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ

3.1. Економічні та соціальні перспективи виробництва та використання біогазу в Україні

Біогаз, одержаний шляхом мієробіологічного розкладання органічних відходів, є перспективним джерелом енергії, що має низьку вартість порівнянні з природним газом.

Переваги біогазу:

• **Екологічність:** виробництво та споживання біогазу є частиною природного циклу вуглецю, що призводить до збільшення викидів парникових газів.

• **Відновлюваність:** біогаз є відновлюваним джерелом енергії, на відміну від природного газу, запас якого обмежені.

• **Децентралізація:** виробництво біогазу можливе поблизу місць його споживання, що знижує витрати на транспортування.

Враховуючи енергетичну залежність України та переваги біогазу, дослідження його потенціалу є актуальним завданням.

Багато науковців присвятили свої праці виробництву та використанню біогазу. Проте більшість досліджень зосереджені на технічних аспектах або зарубіжному досвіді. Тому важливим є обґрунтування економічних чинників виробництва біогазу в Україні.

Потенціал заміщення природного газу:

В Україні значна частина природного газу імпортується. За даними 2012 року, щорічне споживання природного газу становило 44,2 млрд м³. За оцінками, до 50% цієї кількості може бути замінено біогазом.

Екологічні аспекти:

Виробництво біогазу сприяє екологічній безпеці завдяки переробці органічних відходів. Як сировину використовуються екскременти тварин,

відходи агропромислового комплексу, харчової промисловості та побутові відходи.

Розробка програм з виробництва біогазу:

Можливість використання різних видів сировини дозволяє розробляти програми з виробництва біогазу з урахуванням місцевих умов та потреб. Це сприятиме раціональному використанню ресурсів та розвитку біоенергетики в Україні. Виробництво біогазу в Україні має значний потенціал завдяки широкому спектру доступної сировини, включаючи відходи тваринництва, рослинництва, харчової промисловості та побутові відходи. Додатковим джерелом можуть стати нові види рослин, спеціально виведені для виробництва біогазу.

Гнучкість та біодізнорманіття: Використання різноманітних субстратів в одній біогазовій установці забезпечує гнучкість виробництва та сприяє різноманітності в польському господарстві.

Оптимізація виробництва: Ефективність виробництва біогазу залежить від створення оптимальних умов для життєдіяльності бактерій у ферментаторі. Це впливає на собівартість отримання біогазу.

Комплексний підхід до оцінки економічної ефективності: Біогазові установки не лише виробляють енергію, а й сприяють утилізації відходів та захисту довкілля. Тому економічну ефективність слід оцінювати комплексно, враховуючи витрати на переробку відходів та екологічні аспекти.

Окупність та потенціал: Незважаючи на значні капітальні вкладення, промислові біогазові установки окупаються приблизно за три роки. Потенціал виробництва біогазу в Україні оцінюється на рівні 1,5 млн тонн умовного палива, але з урахуванням можливої використання зрештою маси, цей показник може бути значно вищим.

Переваги та перспективи використання: Використання відновлюваних джерел енергії, широкий спектр сировини та безперервність виробництва є значними перевагами біогазових технологій. Біогаз може використовуватися як паливо, для виробництва електроенергії та тепла, що робить його привабливою

альтернативою для децентралізованого енергозабезпечення, особливо крупних сільськогосподарських підприємств.

Біометан та газорозподільні мережі: Біометан, очищений до якості природного газу, може подаватися в загальні газорозподільні мережі. Це ефективний спосіб транспортування та зберігання енергії, який дозволяє поєднувати виробництво та споживання з мінімальними втратами.

Виробництво біогазу в Україні має не лише енергетичний, а й соціальний та економічний вимір.

Соціальні та економічні переваги:

- Створення робочих місць та джерел доходу, особливо у сільській місцевості.
- Високий рівень "місцевої складової" (70-80%), що позитивно впливає на економіку країни.
- Відсутність конкуренції з сільськогосподарськими угіддями між виробництвом продуктів харчування та енергетичних культур.

Стратегія розвитку:

Національна стратегія розвитку біогазу повинна орієнтуватися на ефективне використання біогенних відходів.

Законодавчі аспекти:

Розвиток виробництва біогазу стримується недостатньо ефективною законодавчою базою. Необхідно створити чіткі рамкові умови для стимулювання галузі.

Екологічні аспекти та додаткові переваги: Біогазові установи дозволяють вирішувати проблеми довкілля шляхом утилізації відходів тваринництва та отримання якісних органічних добрив. Додаткові доходи можливі за рахунок участі в проектах спільного впровадження та досягнення квот на викиди CO₂.

Інтеграція з Європою: Виробництво біометану відкриває для України можливість інтеграції з Європейським енергетичним ринком та залучення інвестицій. Зокрема, Україна може стати постачальником біопалива для країн ЄС, які не можуть самостійно забезпечити виконання вимог Директиви щодо відновлюваних джерел енергії.

Необхідні кроки для розвитку ринку біогазу:

- Розробка чіткої національної стратегії розвитку біогазу.
- Створення законодавчих умов для регулювання подачі біометану та транскордонної торгівлі.
- Створення системи сертифікації біометану.
- Покращення інвестиційного клімату та залучення іноземних інвестицій.
- Створення стимулів для виконання вітчизняного обладнання.
- Аналіз потенціалу та придатних місць для виробництва біогазу.

Розвиток біогазової енергетики в Україні має значний потенціал та може суттєво сприяти зміцненню енергетичної незалежності, покращенню екологічної ситуації та розвитку сільських територій. Для реалізації цього потенціалу необхідні зусилля з боку держави, науковців та бізнесу, спрямовані на створення сприятливих умов для розвитку галузі.

3.2. Застосування сучасних біоенергетичних технологій

Здавня, опанувавши мистецтво розпалювання вогню, людство використовувало енергію біомаси для обігріву, приготування їжі та інших потреб. Вже в XVII столітті до нашої ери в Китаї, Ассирії, Індії та Персії були зафіксовані випадки застосування примітивних біогазових технологій. Однак систематичні наукові дослідження в цій галузі розпочалися лише у XVIII столітті.

Схема примітивної біогазової установки, яку використовували у давньому Китаї зображена на рис.3.1.

У цій кулонні відходи сировини та опаки ліній подаються в бетонні резервуари без колодзі. Газ утворюється в процесі ферментації, або відводиться в примальний пристрій, або спрямовується безпосередньо до газової плити. Такі установки використовуються в багатьох країнах.

Перші біогазові установки (БГУ) використовувалися ще до того, як було створено наукову базу для виробництва метану. Наприклад, в Індії (Бомбей) вони

працювали в Японії - в 1900 році, в Німеччині - в 1918 році, у Великобританії - в 1928 році і в США - в 1930 році.



Рис. 3.1. Приміщення газова установка в сільському Китаї

У колишньому Радянському Союзі перший біореактор був побудований в Латвії в 1950 році. В Україні перший біореактор був введений в експлуатацію в Запоріжжі в 1959 році. Виробництво біогазу, в основному для побутових потреб, вперше було розвинене в Китаї в 1978 році, коли вже працювало понад сім мільйонів біогазових установок. Крім побутового використання, в Китаї налічується близько 600 великих і середніх біогазових установок, які утилізують екскременти худоби та птиці, а також відходи виноробних і лікєро-горілчаних заводів.

Виробництво енергії з використання БГУ досить поширене у Великобританії, Данії (Рис. 3.2), Австрії, Італії, Нідерландах та Швеції. Близько 4% сучасних БГУ встановлені в Європі і 14% в Північній Америці.

Біомаса як джерело енергії може бути використана в процесі спалювання деревини, соломи, сапропелю та органічних добрив відкладень, а також у процесі ферментації, наприклад, ефіри, пакулолії, спирт) або газоподібне паливо. Ферментація біомаси в енергоносії може відбуватися фізичними, хімічними та біологічними способами, причому останній є найбільш перспективним.

Біоенергетика має глобальну перспективу і є важливою для успішного розвитку цивілізацій.



Рис. 2. Сучасний комплекс з виробництва газу у Данії

Застосування перспективних методів очищення стічних вод, біологічної адсорбції важких металів зі стічних вод, газових викидів, збагачення повітря киснем, переробки твердих і рідких відходів промислового виробництва, біодеградації пестицидів та інсектицидів, більш ефективних біологічних методів відновлення родючості ґрунтів, заміни пестицидів біотехнологічними продуктами та інші нові екобіотехнології. Без їх використання неможливо подолати нинішню екологічну кризу та запобігти можливим майбутнім.

Іншим важливим напрямком є розвиток екобіотехнологій, спрямованих на виробництво біогазу з органічних відходів та використання біоіндикації і біотестування в екологічному моніторингу.

Екобіотехнологія - це галузь, яка виникла як результат прикладної науки про навколишнє середовище, нових біотехнологій та нових підходів і методів класичної технології. Таким чином, це технологічний процес, який використовує живі організми або їх елементи для поліпшення, захисту або відновлення навколишнього середовища.

Переваги використання екобіотехнологій порівняно зі звичайними фізичними та хімічними природоохоронними технологіями очевидні. Біоенергетика є невід'ємною частиною екобіотехнології. Біоенергетичний підхід

можливо і доцільно застосовувати для вирішення енергетичних та екологічних проблем людства.

Найбільш ефективними технологіями використання біомаси для біоенергетики є пряме спалювання, газифікація, піроліз, анаеробне зброджування для отримання метану, а також виробництво спирту та олії для отримання моторних палив.

Технології використання біомаси вдосконалюються, щоб забезпечити виробництво енергії у зручній для споживача формі та з максимальною ефективністю.

Існують фізичні, хімічні та мікробіологічні методи отримання енергії з органічних відходів.

Фізичні методи виробляють енергію шляхом спалювання органічних відходів. Хімічні методи засновані на піролізі та газифікації.

Найпоширенішим мікробіологічним методом у світі є безвідходне виробництво, тобто виробництво біогазу шляхом анаеробного зброджування. Високоцінними продуктами, отриманими в результаті виробництва біогазу, є високоякісні органічні добрива. Класифікація технологій послідовного перетворення біомаси в енергетичні продукти наведена на рисунку 3.3.

Пряме спалювання біомаси є одним з найстаріших методів виробництва теплової енергії. Однак його практичне застосування пов'язане з низкою проблем, основною з яких є забезпечення повного згоряння палива, в результаті чого утворюються вуглекислий газ і вода, які не є шкідливими для навколишнього середовища.

Технічні пристрої, що використовуються для прямого спалювання біомаси, включають печі, камери згорання та топки. Біомаса може безпосередньо спалюватися на електростанціях, таких як факел, киплячі шари та стиснуті шари, для виробництва тепла та електричної енергії. Основними промисловими технологіями в цій галузі є пряме спалювання в котлах і виробництво електроенергії в парових турбінах.

Піроліз біомаси - це хімічне перетворення одних органічних сполук в інші за допомогою тепла або так званої сухої дистиляції, без впливу окислювачів, таких як кисень або повітря.

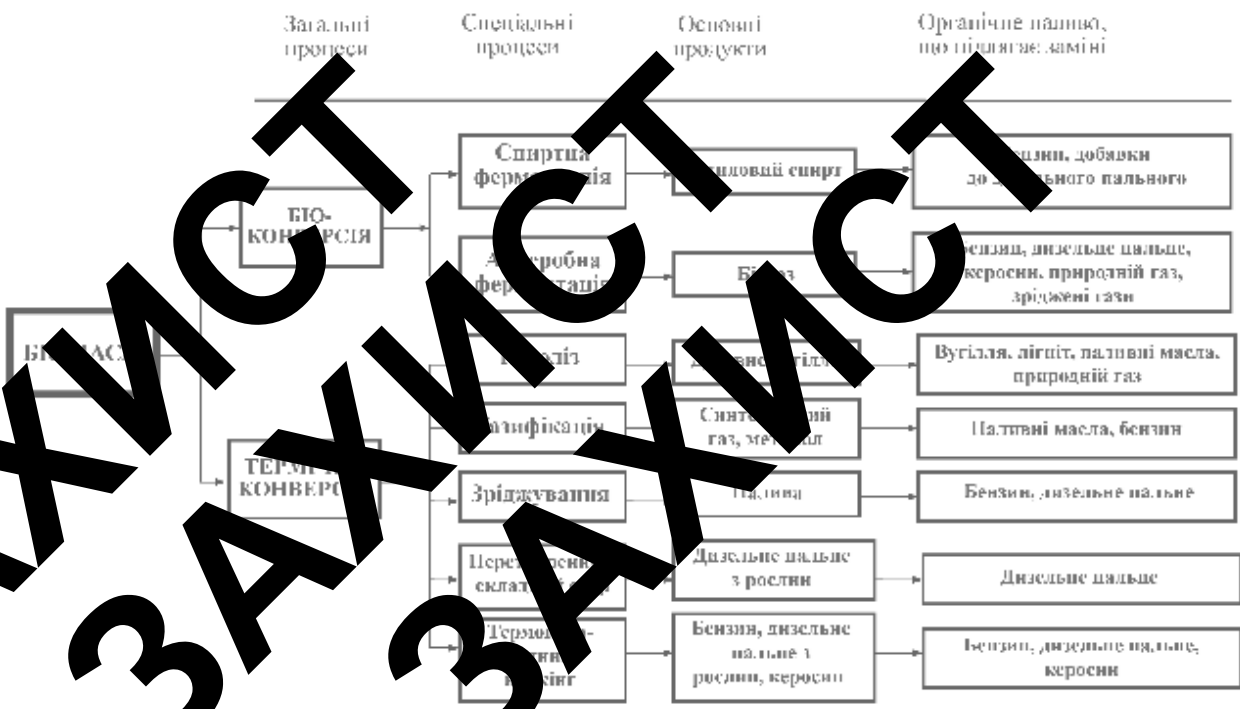


Рис.3.3. Класифікація технологій з перетворення енергії біомаси

Для піролізу біомаси розроблено низку технологічних процесів, умови роботи кожного з яких визначаються природою сировини, методом переробки та специфічними продуктами, що утворюються в результаті виробничого процесу.

Властивості продуктів піролізу залежать головним чином від типу сировини та умов процесу.

Основними продуктами піролізу є вугілля та речовина, паливні рідини і гази. В залежності від технологічного процесу спрямований на отримання одного з продуктів піролізу.

При газифікації біомаси тверді виходи біомаси перетворюються на горючий газ шляхом непрямого окислення повітрям (киснем або водяною парою) при високих температурах.

Практично будь-яке паливо може бути газифіковане, в результаті чого утворюється газ з широким спектром застосування, як паливо для виробництва тепла в домогосподарствах і різних промислових процесах, так і паливо в двигунах внутрішнього згорання.

Існує багато методів газифікації, які базуються на одній і тій же реакції (Рис. 3.4). Газифікатори характеризуються різним рівнем продуктивності.

Газифікатори характеризуються різною продуктивністю, що призводить до різного входу енергії в певному місці. Низькокалорійний газ можна виробляти шляхом газифікації різних видів біомаси, тобто органічних компонентів твердих побутових відходів, сільськогосподарських відходів та відходів лісового господарства. Ефективним також може бути використання газифікаторів біомаси, що працює на газотурбінних і парогазових електростанціях.

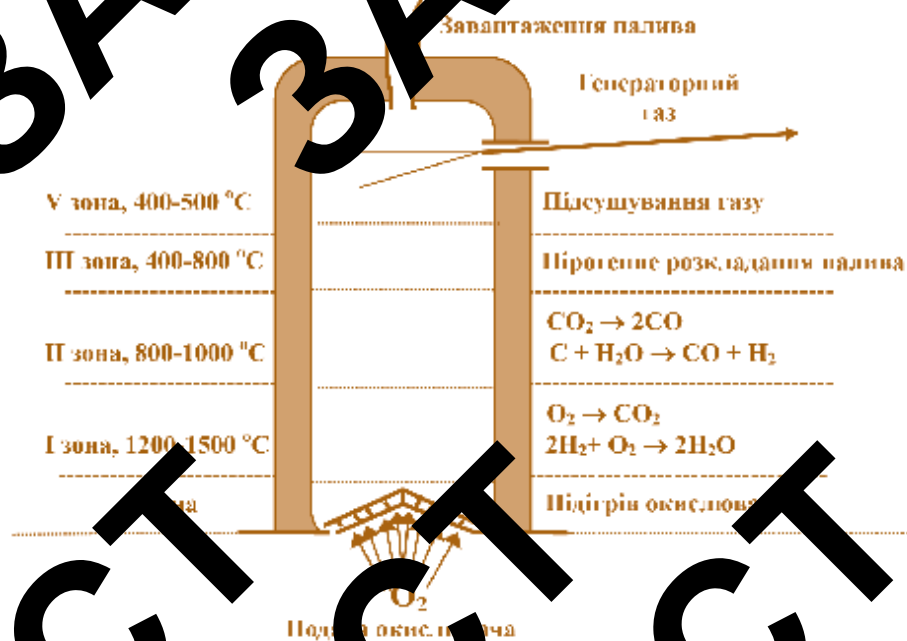


Рис. 3. Газифікація біомаси

Процесі анаеробного зброджування біомаси складні органічні сполуки розщеплюються на CO_2 і CH_4 , утворюючи біогаз - суміш вуглекислого газу і метану. Процес анаеробного зброджування біомаси відбувається в спеціальних

метантенках, до яких не подається кисень і конструкція яких забезпечує максимальне виробництво метану.

У процесах анаеробного зброджування важливо створити оптимальні технічні умови в метантенку, такі як температура і подача кисню, необхідна концентрація поживних речовин, необхідний рівень рН і низькі або відсутні концентрації токсичних речовин.

Порівняння енергетичних показників між традиційними енергоносіями та біогазом представлено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Порівняльні енергетичні показники для традиційних енергоносіїв та біогазу

Енергоносій	Одиниця вимірювання	Еквівалент 1 м ³ неочищеного біогазу 23 МДж/м ³	Еквівалент 1 м ³ очищеного біогазу 35 МДж/м ³
Електроенергія	кВт·ч	0,63	0,95
Природний газ	м ³	0,62	0,94
Вугілля	кг	0,83	1,26

Найбільш ефективними вважають біореактори біогазових установок (рис.3.5), які працюють в термофільному режимі з температурою 43–62°C. На даних установках із триденною ферментацією гною виробляється 4,5 м³ біогазу на кожний літр з корисного об'єму реактора.



Рис 3.5. Зовнішній вигляд біогазової установки

Сучасні анаеробні біогазові установки містять такі основні системи:

- системи для підготовки та подачі сировини у біореактор;
- біореактор (метантенк) із системою для підтримання стабільної температури та необхідними комплектуючими пристроями;
- системи для зберігання та використання біогазу;
- системи для вивантаження та транспортування шламу.

Схема найпростішої біогазової анаеробної установки для використання в сільськогосподарстві зображена на рис. 3.6.



Рис.3.6. Конструктивно-технологічна схема анаеробної установки: 1 – приймаючий пристрій; 2 – біореактор (метантенк); 3 – ємність для збирання біогазу; 4 – патрубок, який з'єднує метантенк із газгольдером; 5 – пристрій, який відкачує шлам з метантенку

Застосування біогазу дає можливість отримання теплової та електричної енергії, яка є необхідною для фермерських господарств. При масовому застосуванні біогазових технологій у сільськогосподарстві можна забезпечити значну енергетичною органічною сировиною (рис. 3.7).

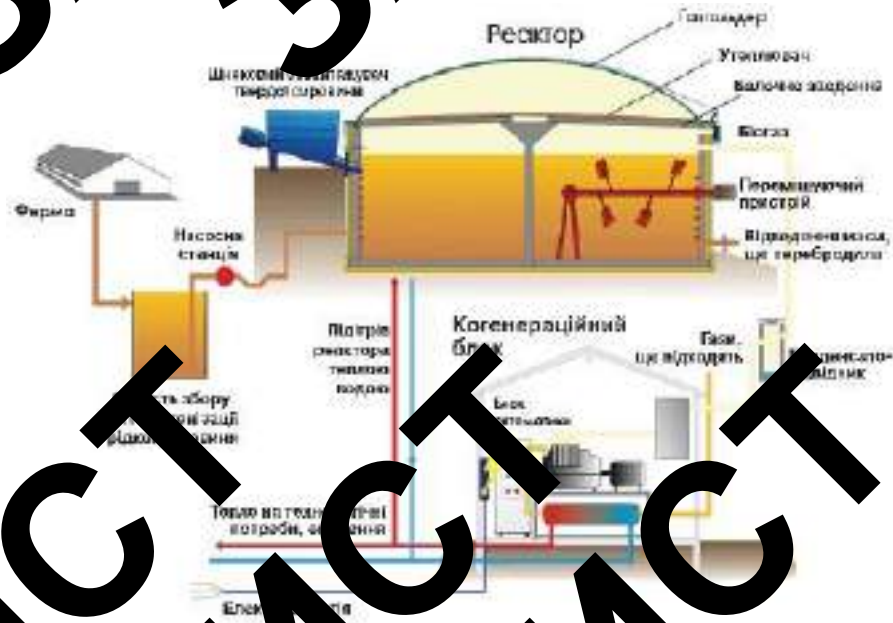


Рис. 3.7. Схема біогазової установки

Біомаса водорослів стає великим інтересом для вирощування та використання в металенках для виробництва біогазу. Однією з найбільш ефективних культур є буряк водорість Макроцистіс, яка поширена в прибережних районах морів і океанів і дає 450-1200 тонн сировини з гектара. Кожна тонна хлорели може виробляти 22 кДж енергії. Морські водорості дуналієлла, червоні водорості та біла мальва також мають значні врожаї.

Розроблено гібридну енергетичну систему під назвою «біосолар». Це ТЕЦ, яка спалює всі біогенні елементи, крім вуглецю (рис. 3.8).



Рис.3.8. Принципова схема гібридної енергетичної системи «Біосоляр» – ТЕЦ

Біосолярні системи – це комплекси для вирощування мікробіомаси, з яких виділяють харчові та кормові добавки, а решту біомаси використовують як елемент для заповнення резервуарів метантенків. Для вирощування мікробіомаси потрібен CO_2 , який очищується і постачається під час спалювання біогазу в котлах ТЕЦ.

Для виробництва біогазу також використовуються відходи тваринного і рослинного походження. Цей метод може також забезпечити додаткове джерело енергії в зимові місяці, коли рослинна біомаса недоступна, використовуючи природний газ, якщо це необхідно.

Український біоенергетичний сектор також може використовувати енергетичний потенціал біомаси, наприклад, надлишок соломи та стебел сільськогосподарських культур, який становить близько 20 млн. тонн, для сільських опалювальних котелень (що споживають близько 2,9 млн. тонн умовного палива річково) та електричних станцій.

Виробництво та використання біогазу в процесі переробки рослинної та тваринної біомаси, а також деревних відходів деревообробних підприємств є

досить ефективним методом (Рис. 3.9). Іншим джерелом біомаси є полігони твердих побутових відходів. Потенціал виробництва біогазу зі сміттєзвалищ може становити близько 1,6 млн. тонн умовного палива. Сировиною для виробництва біогазу можуть бути практично будь-які відходи, що містять різні органічні компоненти.



Рис. 3.9. Тепловий склад ТЕЦ «Albolmens Kraft-2» (Фінляндія), яка спалює відходи деревообробних підприємств

3.3. Перспективні напрямки виробництва біогазу в Україні

Європейський Союз активно розвиває виробництво біогазу, прагнучи збільшити його об'єми вдвічі у найближчому майбутньому. В 2010 році країни ЄС виробили близько 1 млрд кубометрів біогазу, тоді як потенціал України в цій сфері оцінюється в 6 млрд кубометрів на рік.

Виробництво джерела енергії (ВДЕ) у світі та ЄС. За даними Міжнародного енергетичного агентства, в 2010 році частка ВДЕ у світовому енергетичному балансі становила 12,1%. В Європейському Союзі споживання енергії з ВДЕ зросло майже ввічі з 1991 по 2010 рік, досягнувши 24% від загального кінцевого енергоспоживання.

Виробництво біогазу в ЄС:

У 2011 році основними джерелами біогазу в ЄС були: Біогазові установки, що переробляють відходи агропромислового виробництва та енергетичні культури (57%). Полігони твердих побутових відходів (ТПВ) (31%). Станції очищення стічних вод (12%).

Використання біогазу: Біогаз широко використовується для виробництва електроенергії та тепла. З 2010 по 2011 рік виробництво електроенергії з біогазу в ЄС зросло на 18%, а продажі тепла — на 16%.

Частка біогазу в енергетичному балансі ЄС:

Електроенергія, вироблена з біогазу, становить близько 4,5% від загальної обсягу електроенергії, отриманої в ЄС, і 24,5% — від загальної обсягу електроенергії, отриманої з біомаси.



Рис. 3.10. Будівництво біогазової установки в Латвії.

Згідно прогнозів Єврокомісії щодо структури виробництва електроенергії з ВДЕ у країнах ЄС у 2020 році частка електричної енергії, виробленої з біогазу становитиме 8%, перш ніж вночі внесок мпо, відроенергетики, сонячної та геотермальної енергетики, а також електроенергії, виробленої з твердих побутових відходів.

В останні роки почали стрімко реалізуватися проекти з виробництва очищеного біогазу з метою — з подальшим запуском газові розподільчі мережі.

У 2011 році в країнах ЄС налічувалося близько 180 установок із виробництва біометану, 130 з яких постачали біометан у газові розподільчі мережі. В інших випадках біометан застосовувався як моторне паливо для автомобілів.

Сумарне виробництво біометану у передових вісьмох країнах ЄС у 2010-2011 роках становило близько 0,5 млрд м³ на рік.

Високі обсяги з виробництва біогазу та біометану є наслідком додаткового використання сировини зі спеціально вирощених рослин в першу чергу кукурудзи на зерно.

Так, наприклад, у Німеччині для власних цілей було зареєстровано близько 1 млн га, що становило 1,5% від сумарної площі орних земель.

Відомо, що оцінки вказують, ринок біогазу продовжує стрімко розвиватися, включаючи інші види сировини та енергетичного балансу країн.

В Україні перша установка була збудована в 1993 році на свинофермі «Золотістале» (Населеними стали компанії "Агро-овен", Українська молочна компанія "Еліта").

Біогазову установку на «Золотісталі» було встановлено для очищення стічних вод та зменшення споживання енергії. Тепло біогазу використовується для власних потреб свиногокомплексу.

На свиногокомплексі «Агро-Овен» електроенергія, вироблена біогазовою установкою, використовується для власного споживання, і ця когенераційна установка не підключена до загальної мережі.

Біогазова установка «Еліта» була закрита в 2011 році, оскільки вона не була прибутковою через відсутність «зеленого» тарифу. Єдина біогазова установка, підключена до мережі, знаходиться на власній фермі «Української молочної компанії».

Таблиця 3.2

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	-	Bigadan Ltd, Данія
Свиноферма корпорації "Агроовен", Оленівка, Дніпропетровська область	2009	15 000	Гній, жирові відходи	80	2x1000	180	BTG, Нідерланди
Аграрна компанія "Еліта", Терезопіль, Київська область	2009	1 000	Гній	60	500	250	LIPP, ФРН
Ферма ВР "УМІ", Вербівка, Київська область	2009	6 000	Гній	400	2x2000 + 1000	955	"Зорг", Україна

У червні 2011 року розпочалося будівництво біогазової установки на свинофермі в селі Іванки Івано-Франківської області (Рис. 3.11).



Рис. 3.11. Будівництво біогазової установки на свинокомплексі в селі Іванки Івано-Франківської області

У 2012 році «Миронівський агропродукт» розпочав будівництво біогазової установки на птицьофабриці «Оріль Лідер» у Дніпропетровській

області. В даний час «Укрлендфармінг» планує реалізувати амбітну біогазову програму, що складається з 30 біогазових установок.

У 2012 році «Астарта Київ» оголосила про початок будівництва біогазової установки на Глобинському цукровому заводі в Полтавській області за рахунок коштів ЄБРР.

Таким чином, впровадження біогазових технологій є справою передових сільськогосподарських підприємств з унікальними ресурсами, які можуть ефективно проєктувати за відсутності великих інвестицій через слабкі фінансові ринки. Біогазові установки також працюють на полігонах твердих побутових відходів у Ілті, Іршіві, Львові, Луганську, Маріуполі, Кременчуці та Києві, а також на Іллоніцькій сталеливарній.

Таблиця 3.3

Дані системи збору та утилізації біогазу на полігонах ТПВ

Полігон	Кількість ТПВ, млн тонн	Площа полігону, га	Період експлуатації полігону	Початок збору біогазу	Технологія утилізації
Алушта	1,0	3,2	1960	2008	ФУ* HOFGAS-Ready 500
Ялта	1,3	5,0	1973-2010	2008	ФУ HOFGAS-Ready 800
Львів	4,0	26,0	1957	2009	ФУ HOFGAS-Ready 2000
Маріуполь	2,5	14,0	1967-2009	2010	ФУ HOFGAS-Ready 800, ВЗ 170 кВт
Кременчук	2,8	15,0	1965	н/д	ФУ Haase
Луганськ	2,0	11,6	1979-2010	2010	ФУ Biogas Ltd, UK, 600 m ³ /d
Запоріжжя	5,0	11,0	1972	2011	Haase
Вінниця	3,0	10,0	1980	2012	ФУ Haase
Київ	10,0	30,0	1970	2012	ДВР TEDOM 5x189 кВт

Проєкт поєднати ТПВ «Київ» реалізований компанією ЛНК, є найуспішнішим біогазовим проєктом в Україні (Рис. 3.12). Полігон обладнаний

п'ятьма біогазовими двигунами TEDOM, кожен з яких має встановлену потужність 177 кВт.

У 2012 році компанія виробила 3,3 ГВт-год електроенергії та відпустила її в мережу за економічно обґрунтованими тарифами, встановленими НКРЕ. Компанія розширює потужності цього проекту. Компанія планує ввести в експлуатацію газопоршневу установку потужністю 1 063 кВт виробництва GE Jenbacher.



Рис.3.12. Загальний вигляд біогазової установки на Київському полігоні №5

Крім того, LNK експлуатує аналогічну газопоршневу установку на Бориспільському сміттєзвалищі; з травня 2013 року LNK має можливість продавати електроенергію, вироблену біогазом на Бориспільському сміттєзвалищі, за «зеленим» тарифом 1,46 копійки за кВт-год.

Сільськогосподарський сектор України, який виробляє велику кількість органічних відходів, має достатні ресурси для виробництва біогазу, щоб замістити 1,5 млрд м³ газу щорічно. За умови інтенсивного розвитку галузі та широкого використання рослинної сировини його потенціал може бути збільшений до 18 млрд м³ еквівалентного природного газу.

У певному випадку передбачається, що близько 6% орних земель в Україні буде використовуватися для вирощування кукурудзи для виробництва біогазу, з

врожайністю 40 тонн з гектара. Другий варіант, з більш високими прогнозами, передбачає використання близько 8 мільйонів гектарів відкритих земель під посіви сільськогосподарських культур з урахуванням підвищення врожайності.

Значна частина потенційного ринку біогазових установок в Україні може бути освоєна до 2030 року. Передумовою для реалізації таких проектів є запровадження економічно обґрунтованих «зелених» тарифів на виробництво електроенергії з біогазу в якості першого кроку.

Для забезпечення реалізації ефективних енергетичних біогазових проектів важливо сприяти виробництву електроенергії з біогазу, який може бути отриманий не лише з відходів біомаси, а й зі спеціально рослинної сировини.

Таблиця 3.4

Потенціал виробництва біогазу в агропромисловому виробництві України

Вид діяльності	Кількість підприємств в Україні	Відходні обсяги основних відходів тис тонн	Потенціал виробництва біогазу із загальних обсягів відходів і продукції
			млн кубометрів на рік
Всього в Україні	11700	39800	9550
Цукрові заводи	60	23265	980
Пивзаводи	51	1020	125
Спиртові заводи	58	2700	118
Ферми ВРХ	5080	15 432	390
Свиноферми	5640	5670	160
Птахофабрики	785	4725	380
Силос кукурудзи			7440

Розвиток біогазової енергетики в Україні має значний потенціал, проте існує низка перешкод, які стримують його реалізацію.

Перешкоди виробництва біогазу:

Поміж виробництвом електроенергії, доцільно розвивати виробництво біометану для заміщення природного газу, що більш ефективно використанню в енергетиці.

"зелений" тариф:

Одним з механізмів стимулювання розвитку ВДЕ є "зелений" тариф. В Україні він діє для електроенергії з біогазу з квітня 2013 року і становить 0,1239 євро за кВт/год з коефіцієнтом 1,3.

Законодавчі бар'єри:

- Низький коефіцієнт "зеленого" тарифу для електроенергії з біогазу.
- Некоректне визначення терміну "біомаса".
- Необґрунтовані вимоги щодо частки "місцевої складової".
- Термінологічні помилки в законодавстві.
- Дискримінація біогазових установок, введених в експлуатацію до 1 квітня 2013 року.

року.

Інші перешкоди:

- Відсутність нормативної бази.
- Відсутність застосування пільги на податки при везенні обладнання.
- Відсутність цілового фінансування проєктів.
- Відсутність програм розвитку підприємств.

Таблиця 3.5

Корупція застосування біогазових установок в агропромисловому виробництві до 2030 року

Число установок	Загальне виробництво біогазу	Загальна потужність	Загальна теплова потужність	Річне виробництво струму, Нетто	Річне виробництво теплової енергії, нетто	Скорочення викидів парникових газів	Інвестиції	Створення робочих місць	Площі під кукурудзу
шт	млн куб. на рік	МВт	МВт тепла	млн кВт/год	млн Гкал	млн тонн на рік	млн грн	одиниць	тис га
2020 рік									
143	29	11	97	448	0,395	2	645	920	27
2030 рік									
814	165	420	550	2538	2,035	10	14970	5190	155

Потенціал ринку біогазових установок. Потенціал ринку біогазових установок в Україні оцінюється в 1100 установок з мінімальною потужністю від 100 кВт. Сумарна встановлена потужність може досягти 920 МВт для електричних та 1100 МВт для теплових потреб.

Цілі розвитку до 2020 та 2030 років: До 2020 року необхідно освоїти 10% економічно доцільного ринку біогазових установок, а до 2030 року — 50%. Загальне річне виробництво електроенергії повинно становити 0,45 млрд кВт/год у 2020 році та 2,5 млрд кВт/год у 2030 році.

Виробництво біогазу в Україні має значний потенціал, який може бути реалізований за умови створення сприятливих умов для розвитку цієї галузі.

Очікувані результати розвитку біогазової енергетики до 2030 року:

- Виробництво двох третин біогазу з силосу кукурудзи та решти — з відходів.
- Використання 0,15 мільярда брних земель (5% від загальної площі) для вирощування кукурудзи та силосу.
- Потенціал виробництва теплової енергії (ТВД) — 0,4 млн Гкал у 2020 році та 25 млн Гкал в 2030 році.
- Створення близько 5200 робочих місць.

Скращення викидів парникових газів на 6 млн тонн на рік.

Глобальні тенденції у виробництві біогазу:

Спостерігається інтенсивне зростання виробництва біогазу у світі, пов'язане з вдосконаленням технологій та пошуком нових видів сировини. В ЄС планується подвоїти виробництво біогазу до 2020 року.

Потенціал України:

Україна має потенціал виробляти 1,5-6 млрд кубометрів біогазу на рік, що може суттєво сприяти енергетичній незалежності країни.

Необхідні кроки для розвитку галузі:

- Підвищення "зеленого" тарифу для електроенергії з біогазу.
- Адаптація залучення інвестицій.
- Удосконалення з торговельного сектору.
- Визначення економічних та соціальних переваг виробництва біогазу.
- Підтвердження екологічних переваг та економічну ефективність біогазових установок.

Визначення напрямків застосування сучасних біоенергетичних технологій.

- Наведено класифікацію технологій перетворення біомаси в енергетичні продукти.

- Описано технологічні процеси газифікації біомаси.

- Наведено порівняльні енергетичні показники для традиційних енергоносіїв та біогазу.

- Визначено перспективні напрямки виробництва біогазу в Україні.

- Наведено дані про потенціал виробництва біогазу в агровиробництві України.

- Обґрунтовано необхідність введення економічно обґрунтованого "зеленого тарифу" та стимулювання виробництва електричної енергії з біогазу.

- Пропоновано застосування біогазових установок в агропромисловому виробництві України до 2030 року:

Передбачає освоєння значної частини потенційного ринку біогазових установок до 2030 року за умов створення сприятливих умов для розвитку галузі.

Проаналізовано основні нормативно-правові засади розвитку біоенергетики. Представлено результати дослідження щодо глобального прогнозу розвитку відновлюваних джерел енергії.

Визначено сучасний стан та перспективи розвитку біоенергетики в Україні та проаналізовані типові інвестиційні проекти з будівництва біогазових установок. За останню частину відновлюваних джерел енергії наразі перевищує 9% від загального енергоспоживання ЄС. Основна мета – досягти 20% до 2020 року.

Інтенсивний розвиток та впровадження біогазових технологій в Україні може принести 3-8 млрд. \$ природного газу щорічно. Термін окупності типового проекту виробництва біогазу становить близько 7-10 років, що є мінімальним терміном необхідним для залучення інвесторів у галузь.

Розвиток біогазових технологій зробить значний внесок в енергетичну незалежність України, створить альтернативні газові ресурси, знизить гостроту пікових навантажень в енергопостачанні та сприятиме розвитку регіональної економіки.

Розвиваючи виробництво електроенергії з біогазу та біометану, Україна може одночасно підвищити екологічну безпеку на значній території країни. Це пов'язано з тим, що відходи птахівництва, тваринництва, харчової та переробної промисловості вже зараз загрожують здоров'ю населення та екології ґрунту, повітря і підземних вод. Використання біогазових технологій – одним з основних і найбільш ефективних способів переробки органічних відходів,

Будівництво біогазових установок та супутньої інфраструктури, а також поступовий перехід на виробництво та використання власного обладнання сприятиме подальшому зростанню української економіки. Інвестиції в цей сектор можуть сягати 30 млрд грн у перспективі;

У цій роботі проаналізовані сучасні технології виробництва біогазу та враховано і економічну ефективність.

представлено загальну схему процесу виробництва біогазу та визначено сировину для виробництва біогазу.

Визначено стадії процесу виробництва біогазу, включаючи гідроліз, кислотоутворення, виробництво оцтової кислоти та метаногенез.

Перетравлення вуглеводів (наприклад, цукрових буряків, картоплі, суміші качанів, зернових) забезпечує швидке постачання енергії, перетравлення білків (наприклад, конюшини, трав'яного силосу, житнього силосу) забезпечує джерело енергії, а перетравлення жирів (наприклад, соняшнику) концентрує біогаз в метан, перетравлення лігноцелюлози (наприклад, ландшафтні матеріали).

Ми висловили мікроелементи та макроелементи, які забезпечують мікроорганізми мінімальними речовинами.

Представлено техніко-економічне обґрунтування для визначення самозабезпечення тваринницької ферми біогазом.

Доведено можливість повного забезпечення виробничого процесу енергоносіями, отриманими з гною для стада з 458 голів великої рогатої худоби.

В умовах тваринницької ферми встановлено, що біореактор має об'єм 626 м³, навантаження 85 кг/м³ за цикл енергетичний баланс біогазової установки становить 58 49 МДж/добу.

Встановлено, що біогазова установка виробляє 154574 МДж теплової енергії за цикл, а залишкова енергія, яка використовується для технічної експлуатації, становить 131388 МДж.

Представлена методика техніко-економічного розрахунку для самозабезпечення фермерського господарства переконливо демонструє доцільність проведення досліджень використання екскрементів для виробництва біогазу та органічних добрив, що має бути впровадженню як біогазової установки так і отриманню екскрементів високим вмістом речовин, необхідних для розвитку мікроорганізмів. Біогаз займає особливе місце серед відомих джерел енергії і використовується в усіх сферах виробництва теплоенергії, теплопалива.

З'ясовано економічні та соціальні перспективи виробництва та використання біогазу в Україні.

Екологічний вплив виробництва біогазу полягає в екологічній безпеці переробки органічних відходів та розвитку комплексних технологій утилізації біомаси шляхом метанового бродіння.

Згідно з розрахунками, незважаючи на значні капітальні інвестиції, термін окупності промислової біогазової установки становить близько трьох років. Експерти Національного університету біоресурсів і природокористування України оцінюють загальний обсяг біогазу, який можна виробляти з сільськогосподарської та промислової сировини в Україні, приблизно в 1,6 млн тонн так званого умовного палива.

Біогазові установки можуть бути реалізовані в рамках проектів спільного виробництва (в рамках Копульського протоколу), що можуть приносити додатковий дохід за рахунок використання квот на викиди CO₂.

Порівняно з іншими альтернативними джерелами енергії, біогаз має величезну гнучкість використання застосовується у таких ключових сферах: виробництво електроенергії, палива та тепла.

Також важливим напрямком є розвиток екобіотехнологій, спрямованих на виробництво біогазу з органічних відходів, а також використання біоіндикації та біоаналізу в системах моніторингу навколишнього середовища.

Найбільш ефективними технологіями використання біомаси для виробництва біоенергії є пряме спалювання, газифікація, піроліз, анаеробне зброджування з метаногенезом та виробництво спирту і олії для моторних палив.

У наступній таблиці представлено класифікацію технологій альтернативного перетворення біомаси в енергетичні продукти.

Описано технологічні процеси газифікації біомаси.

Наведено порівняльні енергетичні показники традиційних енергоносіїв та біогазу.

Наведено дані про існуючі системи збору та утилізації біогазу на полігонах твердих побутових відходів.

Наведено дані щодо потенціалу виробництва біогазу в сільськогосподарському виробництві в Україні.

Більша частина потенційного ринку біогазових установок в Україні може бути освоєна до 2030 року. Передумовою для реалізації цих проектів є запровадження економічно обґрунтованих «зелених» тарифів на виробництво електроенергії з біогазу як першого кроку.

Паралельно з виробництвом електроенергії бажано забезпечити виробництво біометану як прямого замічника природного газу та ефективне енергетичне використання біогазу в процесі виробництва електричної та теплової енергії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Амоша А. И. Методологические подходы к оценке энергосберегающих процессов / А. И. Амоша, Ю. П. Колбушкин // Экономика промышленности. – 2009. – № 2. – С. 128–132.
2. Амоша А. И. Экономические подходы к эффективному использованию энергетических ресурсов / А. И. Амоша, В. Г. Федоренко, Н. Г. Белопольский // Экономика и управление. – 2008. – № 1. – С. 1–7.
3. Апаршин О. І. Методологічні підходи до трактування поняття «ресурси енергії» / О. І. Апаршина // Теоретичні і практичні аспекти енергетики та інтелектуальної власності. – 2012. – Т. 1. – С. 112–120.
4. Бевз С. М. Энергосбережение: финансовые механизмы та возможности международной співпраці / С. М. Бевз // Энергосбережение. – 2005. – №2. – С. 4–6.
5. Гавриш В. І. Забезпечення ефективного використання паливно-енергетичних ресурсів у аграрному секторі економіки: теорія, методологія, практика: Моногр. / В.І. Гавриш / МДАУ. – Миколаїв, 2007. – 283 с.
6. Гайдуцький А. П. Методологічні аспекти інвестиційної привабливості економіки / А. П. Гайдуцький // Регіональна економіка. – 2004. – № 4. – С. 81–86.
7. Галузева програма з енергоефективності та енергозбереження на період до 2017 року. – К. : Мінпромполітики України. – 2009. – 123 с.
8. Гевко Р. Б. Обґрунтування параметрів конструкції робочого органу шайбового транспортера / Р. Б. Гевко, О. А. Токарчук // Вісник Харків. нац. техніч. ун-ту ім. Петра Василенка. – 2011. – Вип. 11. – С. 241–246.
9. Гевко Р. Б. Розробка нових конструкцій робочих органів трубчатого скребкового транспортера-змішувача та результати їх експериментальних досліджень / Р.Б. Гевко, О.А. Токарчук, А.П. Євченко // Вісник інженерної академії України. – К., 2013. – № 3-4. – С. 291–296.
10. Гевко Р. Б. Теоретичне обґрунтування параметрів переміщення шайбового матеріалу робочим органом скребкового транспортера-змішувача по криволинійній дорозі / Р. Б. Гевко, О. А. Токарчук // Вісник інженерної академії України. – К., 2013. – № 1. – С. 119–125.

11. Гевко Роман. Теоретические исследования движения сыпучего материала с возможностью частичного перемешивания на вертикальном участке трубчатого конвейера / Роман Гевко, Алексей Токарчук // An international journal on operation of farm and agri-food industry machinery. – Lublin-Rzeszow MOTROL Vol.15. – 2013. – № 4.

12. Гевко Б. В. Теоретичні і практичні аспекти ресурсозбереження / Ю. В. Дзядикувич, Б. В. Гевко // Інновації та економіка. – 2011. – № 3-4 [62]. – С. 103–107.

13. Гнідий М. В. Методологія визначення теоретичного потенціалу енергозбереження на різних рівнях управління економікою / М. В. Гнідий, О. Є. Данилюк // Проблеми загальної енергетики. – 2007. – № 15. – С. 1–21.

14. Грушка С. Г. Альтернативні джерела електричної енергії / О. В. Грушка, З. М. Грушка. – Чернівці : Рута, 2008. – 84 с.

15. Данченко С. Фінансові механізми ресурсозбереження на сучасному етапі розвитку / С. Данченко // Банківська справа. – 2006. – №3. – С. 66–70.

16. Дем'янишин В. Г. Сучасний стан та тенденції енергозбереження в Україні та світі [Електронний ресурс] / В. Г. Дем'янишин, С. В. Кулибаба // Економічні науки. – 2010. – Вип. 7 (25), ч. 4. – Серія «Облік і фінанси». – Режим доступу : http://www.nbuv.gov.ua/portal/soc_gum/en_oif/2010_7_4/16.pdf.

17. Державне регулювання енергетики України [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.icps.com.ua/>.

18. Державний комітет України з енергозбереження : затв. Указом Президента України № 8/95 від 10.10.1995 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.icps.com.ua/>

19. Дзеджула В. І. Методи аналізу ефективності інвестицій у енергозберігаючі заходи / В. І. Дзеджула // Вісник Бердянського університету менеджменту і бізнесу. – 2012. – №1(17). – С. 105–107.

20. Дзеджула В. Оцінка економічної ефективності інвестицій в енергозберігаючі проекти / В. В. Дзеджула // Економічний простір: – 2011. – №54. – С. 24–30.

21. Дзеджула В. В. Сучасний стан та проблеми розвитку вітчизняного ринку енергоресурсів / В. В. Дзеджула // Вісник Хмельницького національного університету. Економічні науки. – 2011. – № 6, т. 1. – С. 187–191.
22. Дзядикевич Ю. В. Енергетичний менеджмент : підруч. / Ю. В. Дзядикевич, Р. Б. Гевко, М. В. Буряк, Р. І. Розум.– Тернопіль : Підручники і посібники, 2014. – 336 с.
23. Дзядикевич Ю. В. Перспективи покращення енергетичної безпеки України / Ю. В. Дзядикевич // Інноваційна економіка. – 2015. – № 1. – С. 5–11.
24. Дзяна Г. Теоретичні основи державної політики у сфері енергозбереження / Г. Дзяна, Дзядикевич Ю. // Ефективність державного управління. – 2016. – № 23. – С. 77–79.
25. Докуні І. Теоретичні аспекти формування економічного механізму енергозбереження / К. І. Докуні // Комунальне господарство міст. – 2012. – № 106. – С. 347–350.
26. Долінський А. А. Енергозбереження та екологічні проблеми енергетики / А. А. Долінський // Вісник НАН України – 2006. – № 2. – С. 24–32.
27. ДСТУ 4065: 2001. Енергозбереження. Енергетичний аудит. Загальні технічні вимоги. – К. : Держстандарт України, 2002. – 39 с.
28. ДСТУ 4472: 2005. Енергозбереження. Системи енергетичного менеджменту. Загальні вимоги. – К. : Держстандарт України, 2005. – 28 с.
29. ДСТУ 4714: 2007. Енергозбереження. Паливно-енергетичні баланси промислових підприємств. Методи побудови та аналізу. (Чинний від 01.07.2007 р.) – К., 2007.
30. ДСТУ 4415: 2007. Енергозбереження. Системи енергетичного менеджменту промислових підприємств. Структура і зміст робіт на стадіях розроблення та запровадження. (Чинний від 01.07.2007 р.) – К., 2007.
31. Економічне цінність і людських ресурсів: монографія / Ю. В. Дзядикевич та ін. – Тернопіль : Астон, 2016.- 392.
32. Енергетична безпека України 2020: виклики, можливості, сценарії. – К. : УкрІНТЕЛ, 2014. – 25с.

33. Енергетична стратегія України на період до 2030 року [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.epravda.com/publications/2013/09/26/396298/view-pri>.

34. Енергоефективність / за ред. В. А. Жовтянського. – К. : Навч. кн., 2002. – 192 с.

35. Енергозбереження. Енергетичний аудит промислових підприємств. Порядок проведення та вимоги до організації робіт: ДСТУ 4713:2007 – К. : Держспоживстандарт України, 2007. – 18 с.

36. Енергозбереження. Методи визначення економічної ефективності заходів по енергозбереженню: ДСТУ 2155-93. – К. : Держстандарт України, 1993. – 13 с.

37. Ермилов С. Энергетическая стратегия Украины до 2030 года: проблемные вопросы содержания и реализации / С. Ермилов // Зеркало недели. – 2006. – №20. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.gazeta.zn.ua/ISSNOM/CS/energeticheskaya-strategiya-ukrainy-na-period-do-2030-goda-problemnyye-voprosy-soderzhaniya-realiza.html>.

38. Євтушевський В. Фактори формування енергетичної безпеки України / В. Євтушевський, А. Кочединова // Вісник Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. – 2009. – С. 15–17.

39. Залога З.М. Україна – СОТ в умовах лібералізації світової торгівлі сільськогосподарською продукцією/ З.М. Залога // Регіональна економіка. – 2008. – №1. – С. 27–41.

40. Загальні вимоги до організації та проведення енергетичного аудиту: Типова методика, затв. наказом НАЕР №56 від 20.05.2010 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://naer.gov.ua/normativno-pravovi-akti>.

41. Закон України «Про ратифікацію Договору до Енергетичної хартії та Протоколу до Енергетичної хартії «Стань енергетичної ефективності і суспільних екологічних аспектів» : К. : №899 –ВР від 06.02.1998р. // Відомості ВР України – 1998. – №10.

42. Енергетичний менеджмент / за ред. І. І. Мельника. – Вінниця : Нова книга, 2007. – 536 с.

43. Каплов Б.А. Технологии послеуборочной обработки и хранения зерна. М.: - Агропромиздат, 1987. -399 с.
44. Ковалко М., Ковалко О. Розвинута енергетика – основа національної безпеки України. / М. Ковалко, О. Ковалко // К. : Бізнес-поліграф, 2009. – 104 с.
45. Кожушко Г. М. Проблеми переходу на освітлення житлових приміщень енергоекономічними джерелами світла: вартість, якість, безпека: II світлотехнічна конференція Української світлотехнічної галузі – сучасний стан та перспективи / Г.М. Кожушко, Ю.С. Басов // Світлотехнікс. – 2008. – №5. – С. 74-77; – №6. – С. 76–77.
46. Борщак Миколай, Федорейко Валерій, Щербань Володимир Енергозбереження в агропромисловому комплексі – Тернопіль: Підручники і посібники, 2001. – 204 с.
47. Коваченко Г.В. Організаційно-економічний механізм як інструмент управління підприємством / Г.В. Коваченко // Економіка. Менеджмент. Підприємство. – 2003. – №11.
48. Концепція вдосконалення державного регулювання природних монополій : Указ Президента України №921/2007 від 27.09.2007р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.president.gov.ua/documents/6767.html> 3.
49. Король О.М. Міжнародні і національні пріоритети енергозбереження в сільськогосподарському виробництві // Зовнішня торгівля: економіка, фінанси, право.-К.-№6, 2010.- с.45-51.
50. Корсікова Н. М. Організаційно-економічний механізм управління інноваційним розвитком підприємства в сучасних умовах / Н. М. Корсікова // Економіка харчової промисловості. – 2009. – № 3, – с. 8–11.
51. Бабич О. Є. Свідомість, роль і функції індивідуальної думки працівника у мотивуванні персоналу / О.Є. Бабич, Я. В. Кудря // Актуальні проблеми економіки. – 2009. – №1. – с. 115–126.
52. Ліп В. Г. Економічний механізм реалізації політики енергоефективності в Україні : монографія / В. Е. Ліп, У. Є. Письменна ; НАН України ; Інститут енергетики та промислового управління. – К. — 2010. – 208с.

53. Луцький І. М. Економіка підприємства: навч. посіб. / І. М. Луцький, З. О. Манів. – К.: Знання, 2004. – 580 с.

54. Макаренко В. А. Енергозбереження і поновлювальні енергоресурси – важливий шлях розвитку систем енергопостачання / В. А. Макаренко, О. Г. Гриб, О. І. Макєєв // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2007. – № 11. – С. 38–48.

55. Макогон І. В. Деякі аспекти реалізації політики енергозбереження в Україні: моніторинг / І. В. Макогон // Донецьк: ДонНТУ, 2012. – 90 с.

56. Маляренко В. А. Енергозбереження і поновлювальні енергоресурси – важливий шлях розвитку систем енергопостачання / В. А. Маляренко, О. Г. Гриб, О. І. Макєєв // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2007. – № 11. – С. 38–48.

57. Мартиненко І. І. Енергоресурси та енергозбереження в сільському господарстві України / І. І. Мартиненко // Науковий вісник НАУ. – 1997. – №1. – С. 122–126.

58. Мацевитый Ю. М. Концепция региональной политики энергосбережения / Ю. М. Мацевитый, И. А. Немировский, Н. Г. Ганжа // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2008. – № 3. – С. 43–49.

59. Миколук О. А. Оцінка ефективності використання енергоресурсів на підставі аналізу енергоємності виробництва / О. А. Миколук // Вісник Хмельницького національного університету. – 2009. – № 5, т. 1 – С. 104–107.

60. Михайлюк І. Д. Політика енергозбереження, потенціальні можливості енергозбереження в Україні / І. Д. Михайлюк // Энергосбережение. – 2006. – № 1 – С. 3–8.

61. Нагорнюк О. П. Теоретичні аспекти формування виробничих витрат сільськогосподарських підприємств / О. П. Нагорнюк // Економіка АПК. – 2014. – № 6 – С. 96–101.

62. Неміш П. Д. Сутність оцінка та напрями підвищення ефективності механізму енергозбереження АПК / П. Д. Неміш // Інноваційна економіка. – 2013. – № 7 (45) – С. 46–53.

63. Пархоμεць М. К. Організаційно-економічний механізм забезпечення дохідності сільськогосподарських підприємств: теорія, методика, практика : моногр. / М. К. Пархоμεць, В. В. Гудак. – Тернопіль : ТНЕУ, 2014. – 255 с.
64. Перспективи енергозабезпечення України в контексті світових тенденцій / за ред. А. І. Шведова. – Дніпропетровськ : РФ НІСД, 2008. – 208 с.
65. Петрук В., Плесюк О. Шляхи забезпечення екологічної безпеки ґрунтів Тернопільської області // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції з участю іноземних студентів «Звиток сучасного бізнесу в умовах глобалізації» (15-17 січня, Тернопіль.- ТНЕУ.- С.181-186.
66. Трахтевич А. Концептуальне положення управління енергоефективністю в Україні / А. В. Трахтевич, Є. М. Іншеков // Енергосбереження. Енергетика. Енергетик. – 2005. – № 8. – С. 26–35.
67. Про альтернативні джерела енергії : Закон України від 20.02.2003 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon1.rada.gov.ua/cgi-bin/law/main.cgi?lang=555-15>
68. Раумний Ю. Т. Енергосбереження / В. Т. Заїка, Ю. В. Степаненко. – Дніпропетровськ : НГУ, 2008. – 164 с.
69. Сибикин Ю. Д. Нетрадиционные возобновляемые источники энергии / Ю. Д. Сибикин, М. Ю. Сибикин – М. : Радио Софт, 2008. – 228 с.
70. Солнечная энергетика: обзор отрасли (по материалам компании Nitol Solar Limited). [Електронний ресурс] – Режим доступу : World Wide Web: <http://nitolsolar.com/rusolarenergy>
71. Стратегія енергозбереження в Україні. Ч.1 / за ред. В. А. Жовтянської. – К.: Академперіодика, 2006. – 510 с.
72. Барасенко А.П. Механізм травмирування семян при уборке и послеуборочной обработке // Воронеж, 2003. – 13 с.
73. Грисвяк П.А. Хранение зерна М.: Колос, 1975.-399 с.
74. Федорова В.А. Перспективи зміцнення енергетичної безпеки України / В. А. Федорова // Вісник Дніпропетровського університету. Сер. Економіка.– 2012. – Вип. 6. – С.50–55.

75. Червінська Т.М. Науковий та виробничий потенціали інноваційної діяльності АПК / Т.М. Червінська // Проблеми науки. – 2007. – №1. – С. 35-41.
76. Цаплін В. І. Ринкові та адміністративні механізми енергозбереження // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2008. – № 6. – С. 16–18.
77. Язлюк Б.О., Гевко Р.Б., Дзядикевич Ю.В., Бутов А.М. Прикладна економіка: Навчальний посібник.- Тернопіль: Крок, 2016.- 288с.
78. Язлюк Б., Гевко Р.Б., Дзядикевич Ю.В. Теоретичні та прикладні аспекти економічної безпеки України // Інноваційна економіка.- 2015.- №4 (59).- С.301-310.
79. Бремко І. Організаційно-економічний механізм формування та реалізації потенціалу кооперативних систем / І. Бремко // Галицький економічний вісник. – 2010. – № 4(60) – С. 116–120.
80. Hevko V. Promising Projects of Energy Saving in Housing and Communal Services of Ukraine // Hevko // The Advanced Science Journal. – 2015. – ISSUE 01. – P. 105–115.
81. Roman Hevko. Parameter justification for interworking relationship of elastic screw operating element with grain material/ Roman Hevko, Yuriy Dzyadykevych, Ihor Tkachenko, Serhii Zalutskyi // Вісник ТНТУ, - Т.: ТНТУ, 2016.- Том 81.- № 1. С. 70-76.
82. Bauer C., Korthals M., Gronauer A., Lebuhn M. (2008). Methanogens in biogas production from renewable resources - a novel molecular population analysis approach. *Water Science Tech.* 58(7), 1433-1440.
83. Bauer C., Lebuhn M., Gronauer A. (2009). Mikrobiologie der Prozesse in landwirtschaftlichen Biogasanlagen // LfL-Schriftenreihe 2/2009 ISSN 1611-4159.
84. Haselger U. (1998) Landwirtschaftliche Gär-Vergarungs-Biogasanlagen, F&T-Beirichte Nr. 512
85. Bischofberger W., Dichtl N., Jenkinson K.-H., Seyfried C. F., Bohnke B. (Hrsg.), (2005). *Anaerobtechnik*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
86. Cima D.S., Lehtomaki A., Pettersson L., Blackall L. L. (2007). Hydrolysis and microbial community analyses in two-stage anaerobic digestion of energy crops, *J. Appl. Microbiol.*, 2007, p. 516.

87. Cydonka H. (2005) Grundlagen der Mikrobiologie, 3. Auflage 2005, Springer Verlag, Berlin.
88. Gallert C., Winter, J. (2005). Bacterial Metabolism in Wastewater Treatment Systems, in: Environmental Biotechnology. Concepts and Applications, Eds: H.-J. Jordening and J. Winter, WILEY-CHV, Weinheim.
89. Jetten et al. (1992). Jetten M.S.M., Stams A.J.M., Zehnder A.J.B. (1992). Methanogenesis from acetate: a comparison of the acetate metabolism in *Methanotheroxobacter* and *Methanospirillum* spp. *MS Microbiol. Rev.* 58, 181-198.
90. Krause D., Diaz N.N., Edwards R.A., Gatzemann K.H., Kromeke H., Neuweg G., Pauer A., Runkel J., Schuster A., Sinner J., Szczepanowski R., Tauch A., Gessmann A. (2008). Taxonomic composition and gene content of a methane-producing microbial community isolated from a biogas reactor. *J. Biotechnol.* 136(1-2), 91-101.
91. Lebhuhn M., Bauer C., Gronauer A. (2008). Probleme der Biogasproduktion aus nachwachsenden Rohstoffen im Langzeitbetrieb und molekularbiologische Analytik. In: *DLUFA- Schriftenreihe* 64, 118-125, ISBN978-3-941273-05-4.
92. Lebhuhn M., Liu F., Heuwinkel H. and Gronauer A. (2008). Biogas production from mono-digestion of maize silage - long-term process stability and requirements. *Water Sci. Tech.* 58(8), 1645-1651.
93. Lebhuhn M., Bauer C., Munk B. and Gronauer A. (2009). Population dynamics of methanogens during acidification of biogas fermenters fed with maize silage - a causal analysis. *Proceedings of the 1st International Congress Biogas Science 2009*, 2.12. - 4.12.2009, Erling, LfL Schriftenreihe 16/2, ISSN 1611-1159, 319-332.
94. Lebhuhn M. (2008) Regelungsverfahren für die anaerobe Behandlung von organischen Abfällen, *Manuskriptreihe zur Abfallwirtschaft*, Band 9, Hrsg.: W. Billingerer, M. Kranert, Kolibri-Verlag, Berlin.
95. Lynd L., Weimer P. J., van der V. H., Metorius I. S. (2002). Microbial Cellulose Utilization: Fundamentals and Biotechnology, *Microbiology and Molecular Biology Reviews* 66, p. 506.
96. Mata-Alvarez, J. (Ed.) (2003). *Biomethanization of the Organic Fraction of Municipal Solid Waste*, IWA Publishing, 1st edition, London.

97. Neumann W., Forkmann R., Kruger K. (1998). Mikrobiologische Eliminierung von Schwefelwasserstoff - neue praktische und theoretische Erkenntnisse, in: Technik anaerober Prozesse, Hrsg.: DECHEMA e.V., 275.

98. O'Sullivan C. A., Burrell P. C., Clarke W. P., Blackall L. L. (2005). Structure of a cellulose degrading bacterial community during anaerobic digestion, *Biotechnology and Bioengineering* 92/7, 2005, pp. 871-878.

99. Rutzmoser K. und Spann B. (2002). Zielwert-Funktionsoptimierung, Bayer. Landesanstalt für Tierzucht und Grub.

100. Reuling et al, 2008 Biogasproduktion in Bayern 2001, topagrar Nr. 10/2008, Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster und Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Agrarökonomie, München.

101. http://www.lfl.bayern.de/ilb/Link/32503/linkurl_0_2.pdf.

102. Schink B. (2006). Syntrophic associations in methanogenic degradation. In: *Molecular Basis of Symbiosis*, Jörg Overmann (ed.). Springer, Berlin, pp. 1-19.

103. Schwarz H. (2007). Das Cellulosom - Eine Nanomaschine zum Abbau von Cellulose, *Naturwissenschaftliche Landschaft*, 56/3, 121.

104. Schneider R. (2007). Biologische Entschwefelung von Biogas, Dissertation an der Technischen Universität München.

105. Sticksel E. (2010) persönliche Mitteilung, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Am Gereuth 8, 85354 Freising - Tel. 08161/71-3637.