

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Тернопільський національний економічний університет**  
**Факультет аграрної економіки і менеджменту**  
**Кафедра менеджменту біоресурсів і природокористування**

**ГРАДОВИЙ Василь Васильович**

**Еколого-економічна оцінка та напрями забезпечення  
виробництва біогазу / Ecological and economic assessment  
and provide directions biogas**

Спеціальність – 8.18010017 “Економіка довкілля і природних ресурсів”  
Магістерська програма – Економіка довкілля і природних ресурсів

Магістерська робота

Виконав студент групи  
ЕДПРМ-21  
В.В. Градовий

---

Науковий керівник:  
д.т.н., професор  
Р.Б. Гевко

---

Магістерську роботу допущено

до захисту:

“\_\_\_” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

В.о. завідувача кафедри

\_\_\_\_\_ Р.Б. Гевко

**ТЕРНОПІЛЬ – 2017**

## З М І С Т

	Ст.
<b>ВСТУП</b> .....	3
<b>РОЗДІЛ 1. ОСНОВНІ НАПРЯМКИ ВИГОТОВЛЕННЯ І ВИКОРИСТАННЯ БІОГАЗУ</b> .....	5
1.1. Законодавство та нормативно-правова база щодо розвитку біоенергетики.....	5
1.2. Світове прогнозування розвитку відновлюваних джерел енергії.....	17
1.3. Сучасний стан та перспективи розвитку біоенергетики в Україні.....	19
1.4. Аналіз типових інвестиційних проектів будівництва біогазових установок.....	26
1.5. Висновки до першого розділу.....	30
<b>РОЗДІЛ 2. СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ ТА ЇХ ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ</b> .....	33
2.1. Загальна модель процесу утворення біогазу.....	33
2.2. Сировина для виробництва біогазу.....	38
2.3. Процес виготовлення біогазу.....	40
2.3.1. Гідроліз.....	41
2.3.2 Ацидогенез.....	42
2.3.3 Ацетогенез.....	42
2.3.4 Метаногенез.....	43
2.4. Спеціальне розчеплення окремих груп речовин.....	44
2.4.1. Розщеплення вуглеводів (наприклад: цукрові буряки, картопля, суміші качанів, зерна) – швидке постачання енергії.....	44
2.4.2. Розщеплення білку (наприклад: конюшина, трав'яний силос, силос цілих рослин жита) – постачальники енергії.....	48
2.4.3. Розщеплення жирів (наприклад, соняшник) – збагачений метаном біогаз.....	50
2.4.4. Розщеплення лігніноцелюлози (наприклад ландшафтний матеріал).....	51
2.5. Забезпечення мікроорганізмів мінеральними речовинами.....	53
2.5.1. Макроелементи.....	53
2.5.2. Мікроелементи.....	54
2.6. Біогаз і залишки бродіння.....	55
2.7. Техніко-економічне обґрунтування самокупності ферми для утримання великої рогатої худоби за рахунок виробництва біогазу.....	57
2.8. Висновки до другого розділу.....	63
<b>РОЗДІЛ 3. НАПРЯМКИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ</b> .....	66
3.1. Економічні та соціальні перспективи виробництва та використання біогазу в Україні.....	66
3.2. Застосування сучасних біоенергетичних технологій.....	73
3.3. Перспективні напрямки виробництва біогазу в Україні.....	83
3.4. Висновки до третього розділу.....	93
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ</b> .....	96
<b>ЛІТЕРАТУРА</b> .....	100

## ВСТУП

Виробництво енергії з відновлюваних ресурсів на даний час є однією з головних тем, котрі дискутуються як у Європі, так і у всьому світі. Коли перспективи виробництва як біоетанолу, так і біодизелю викликають суперечки, а затрати на їх виробництво є значними, кількість підприємств з виробництва біогазу у ЄС на протязі останніх років постійно зростає.

Біоенергетика визначає використання енергії біомаси, а саме органіки, що утворюється шляхом фотосинтезу. "Зелене паливо", так деколи називають паливо, яке виготовлене з рослин, сировиною для отримання котрого є біомаса. Однак, чим більше дискутують про біоенергетику, тим більше під поняттям "біопаливо" розуміють рідке біопаливо, а саме біодизель, біоетанол, метанол і забувають про тверді та газоподібні, до яких відносяться біогаз, синтез-газ, відходи побутової та сільськогосподарської продукції, а також залишки від переробки деревини.

Однак, саме енергетичні рослини, котрі вирощуються з метою отримання енергії чи палива, досить швидко створять конкуренцію для газу та дизелю. Це харчові рослини та нехарчові, такі як енергетична верба, тополя, ріпак, соя, та багаторічні трави, а також соняшник, льон, кукурудза та ін.

Як джерело енергії біомасу можна застосовувати в процесі безпосереднього спалювання соломи, деревини, сапропелю, які є органічними донними відкладами, а також в переробленому вигляді рідке: ефіри ріпакової олії та спирти чи газоподібне (біогаз) паливо. Перероблення біомаси в енергоносії може здійснюватись фізичним, хімічним та біологічним шляхом.

Можна констатувати, що біоенергетика - це напрямок, котрий має глобальну перспективу для наступного успішного розвитку всієї цивілізації.

Уникнення сучасних і запобігання наступним екологічним кризам є не можливим без використання нових екобіотехнологій з метою очищення стокових вод, біосорбції важких металів із стоків, переробки небезпечних газових викидів та кисневе збагачення повітря, використання перспективних методів знешкодження як твердих, так і рідких відходів промислового

виробництва, підвищення ефективності способів біологічного відновлення забрудненості ґрунтів, заміни агрохімікатів на нові біотехнологічні препарати.

До важливих напрямків також можна віднести розробку екобіотехнологій, які спрямовані на виробництво біогазу з органічних відходів, мікробіологічну деструкцію ксенобіотиків, застосування методів біоіндикації та біотестування для екологічного моніторингу.

**Біогаз** – є узагальненою назвою горючої газової суміші, яка отримується шляхом природнього розкладання речовин органічного походження у результаті анаеробного мікробіологічного процесу тобто метанового бродіння. Для того, аби процес розкладання не був тривалим, а здійснювався за декілька днів, з метою життєдіяльності основних видів бактерій забезпечують максимально сприятливі умови.

Технологія виробництва біогазу є біологічним процесом, за якого анаеробно здійснюється розщеплення органічної субстанції, а це значить, що субстрат буде розкладається без кисню.

В процесі виробництва біогазу утворюється біогаз, а також залишки бродіння. Біогаз, в основному, складається з метану, який багатий на енергію, а також з вуглекислого газу з залишкових газів, до яких відноситься аміак, сірководень та водяна пара. Залишки бродіння можна використовувати як органічні добрива в природному кругообігу речовин.

Процес виробництва біогазу дає змогу запобігти викиданню метану в атмосферу, а також знизити об'єми використання хімічних добрив, зменшує небезпеку для забруднення ґрунтових вод.

Найбільш важливим для економіки України є те, що вироблений біогаз є побічним продуктом в переробці органічних відходів. В основному, сировина для виробництва біогазу на підприємствах, а отже її не потрібно купувати.

Як показують дослідження, які проведені Європейською комісією, біогазова енергетика вирішує проблеми, які пов'язані із зайнятістю населення в сільських районах і підвищує їх реальні доходи. Також впровадження даних технологій сприяє розвитку енергетичної інфраструктури сіл, що позитивно відобразиться на рівні життя населення та сприятиме його збереженню.

# РОЗДІЛ 1

## ОСНОВНІ НАПРЯМКИ ВИГОТОВЛЕННЯ І ВИКОРИСТАННЯ БІОГАЗУ

### 1.1. Законодавство та нормативно-правова база щодо розвитку біоенергетики

Світове виробництво та використання біопалива характеризується досить високим рівнем розвитку, на що вплинули не лише інтенсивний розвиток промисловості, але і кількість країн, котрі активно почали працювати в даній галузі. Інвестиційна привабливість виробництва біопального характеризується впливом наступних чинників: розвитком ефективних технологій, підтримкою за рахунок державних програм, та зростанням цін на традиційні енергоносії. Наслідком є те, що для сільського господарства з'являються нові ринки збуту продукції, які частково зменшують залежність від імпорту мінеральних палив та відповідно цін на них, а також зростають позитивні впливи на екологію.

Проблемами розвитку біоенергетичної галузі у контекстах економічного, екологічного, соціального та нормативно-правового аспектів займаються багато українських і зарубіжних вчених: Г. Гелетуха, М. Калінчик, Ф. Ізермеєр, Г. Калетнік, О. Шпичак та інші науковці. Про те, на сьогодні питання розвитку біологічних джерел для виробництва енергії в Україні залишається відкритими, у зв'язку з недосконалістю нормативно-правової бази регулювання, економічною та соціальною нестабільністю, що обмежує гарантії та стабільність постачальників енергетичних ресурсів на ринки.

Фундаментальними основами розвитку та поширення біологічних типів пального є законодавча база у даній сфері. Так, у світовій практиці діють різні підходи для стимулювання виробництва альтернативних джерел енергії, зокрема біоенергетики. Серед лідерів з виробництва біопалива є США, Бразилія, а також країни ЄС.

Уряд США у 2005р. прийняв Акт стосовно енергетичної політики, котрий повинен був стимулювати розвиток ринку біологічного пального. До нього

увійшли: Стандарт щодо відновлюваних джерел енергії, згідно якого передбачено виробництво етанолу у розмірі близько 28 млрд. л до 2012р.; надання гарантій по кредитах; зменшення податків на виготовлене біопальне, а також активне стимулювання їх виробництва; проведення науково-дослідних та проектно-конструкторських розробок з біоенергетики; здійснення демонстраційних проектів біопереробних заводів; мотивування до впровадження та розповсюдження етанолу E85.

Закон «Про фермерство», котрий було затверджено Конгресом США у травні 2008р., передбачалось зменшення рівня податкових кредитів для виробництва етанолу на основі кукурудзи з 0,51 до 0,45дол. США за 1 галлон і введення кредиту для етанолу з целюлози в розмірі 0,1 дол. США за 1 галлон.

Варто відзначити, що уряд США в своїх нормативних документах та відповідних програмах значну перевагу надавав розвитку з виробництва біоетанолу, на протипагу виробництва біодизельного пального.

Бразилія почала успішно розвивати виробництво біопалива із прийняттям у 1975р. програми «Proalcool», котрою передбачалось зменшення її залежності від імпортих поставок нафти. Запровадження податкових пільг поряд із обов'язковим змішуванням та використання інших ефективних стимулів, сприяли інвестиційного клімату виробництва етанолу. Вирощування цукрової тростини було стимульовано наданням субсидій, які сприяли будівництву нових підприємств з виробництва етанолу, а також стимулюванню внутрішнього споживчого ринку та розвитку відповідної інфраструктури для постачання етанолу. У 2003р. уряд Бразилії почав підтримувати виготовлення двигунів з гнучкими паливними системами, які здатні працювати практично за будь-яких пропорцій при змішуванні етанолу із бензином.

В середині 90-х років, уряд Бразилії відмовився від субсидування та регулювання цін на ринку етанолу. Таким чином він мав за мету знизити державне регулювання в даній галузі, використовуючи два основних чинники впливу, а саме обов'язкове змішування (близько 25% етанолу у мінеральному паливі), а також надання податкових пільг на етанол та при закупівлі двигунів із гнучкими паливними системами. На даний час понад 80% нових автомобілів,

виготовлених в Бразилії обладнані такими гнучкими паливними системами. В останній час, Бразилія інтенсивно також розвиває виробництво біодизелю.

У Національному плані розвитку агро-енергетики бразильський уряд поставив за мету досягнути 2% біодизеля до 2008р., 5% – до 2013р. Дана програма не лише сприяла розвитку виробництва етанолу та біодизеля, але також ефективно використовувати сільськогосподарські та лісові відходи, також вирощувати дерева для енергетичних потреб. У 2004 р. було прийнято Указ Президента, що стимулював виробників біодизеля купляти сировину в домашніх господарствах, а у 2005р. схвалений законодавчий акт, який передбачав звільнення виробників біодизеля від податків.

Політика виробництва біопалива в ЄС визначається двома Директивами 2003/30/ЄС і 2003/96/ЄС, які передбачала збільшення частки використання біопального у загальному споживанні з 2% у 2005р. до 5,75% у 2010 р. Про те, на даний час стало очевидним те, що ЄС не зміг виконати свої зобов'язання стосовно доведення частки у розмірі 2% біопального до 2005р., та досягнення його частки 5,75% до 2010 р. вмісту біопального в традиційному паливі.

Директива 98/70/ЄС з поправками Директиви 2003/17/ЄС відноситься переважно до виконання екологічних норм при виробництві біопального. Вона визначає ліміт в розмірі 5% змішування етанолу з мінеральним паливом, виходячи з екологічних міркувань.

Так, комісія ЄС запропонувала ввести поправку, що включає збільшення частки етанолу до 10 відсотків. Зелена книга Єврокомісії, котра називається «Назустріч Європейській стратегії з надійного енергозбереження», що була опублікована у 2001р., зазначила проблему суттєвої енергетичної залежності ЄС. У травні 2007р. в Брюсселі згідно рішення круглого столу держав ЄС прийнято рішення, згідно якого частка ВДЕ до 2020р. повинна становити близько 20% від сумарного споживання енергоресурсів, з яких 10% це біопальне. У липні 2008р. Європарламент визначив нову мету доведення частки біопального до 2015р. до 4%, а після цього будуть визначені шляхи для подальших перспектив з використання біологічного пального. Проведений аналіз основних положень згідно статей Директиви ЄС 2009/28/ЄС стосовно

стимулювання використання енергії з відновлюваних джерел, котра була прийнята в 2009р. показав, що стратегічні напрямки ЄС стосовно розширення використання видів біопалива ґрунтується на стабільному їх розвитку, а також включає наступні чинники: безпечну поставку сировинних ресурсів як в країнах ЄС, так і країнах третього світу; зниження викидів парникових газів, яке вимірюється за методологією, яка включає урахування змін використання земель, також соціальну стабільність і розвиток сільських територій.

Зазначена Директива ЄС спрямована на забезпечення довгострокової стратегії розвитку стосовно відновлюваних альтернативних джерел енергії, а для біологічних видів палив сприятиме більш прогнозованому прийняттю рішень урядів країн ЄС, що матиме вагоме значення у подальшому інвестуванні галузі.

Промисловість з виробництва біопалива в Україні фактично знаходиться на початковій стадії розвитку. В 2000р. було прийнято Закон "Про альтернативні види рідкого та газового палива" №1391-XIV. Даний Закон визначає правові, економічні, екологічні, соціальні, та організаційні заходи з виробництва та споживання альтернативних видів рідких та газових палив на базі залучення нетрадиційних альтернативних джерел та енергетичної сировини, а також спрямований на створення необхідних умов з метою розширення виробництва та споживання даних видів палив в Україні. Про те, варто відмітити, що даний закон носить більш декларативний характер.

Для забезпечення інтенсивного та стабільного розвитку виробництва та використання на українському ринку біоетанолу, а також з метою зацікавленості нафтопереробних підприємств, які виготовляють сумішеві бензини був прийнятий Закон України "Про внесення змін до деяких законів України щодо стимулювання виробництва бензинів моторних сумішевих". Даний закон передбачав з 1 січня 2007р. зменшення від 60 євро ставки акцизних зборів за 1т сумішевих бензинів до 30 євро, за умови, що частка біоетанолу у бензині складатиме більш як 2%. Для виконання прийнятого Закону Мінпаливенерго визначило перелік нафтопереробних підприємств, котрі можуть виготовляти бензин з домішками біоетанолу, а також ті підприємства,



які виготовляють дані домішки. Незважаючи на те, що в останній час загальні обсяги виробництва біоетанолу практично не змінились, однак зросла зацікавленість з боку держави і з боку виробників.

Відповідно до Закону України «Про ставки акцизного збору та ввізного мита на деякі товари (продукцію)» зі змінами, які внесені згідно до Закону «Про внесення змін до законів України «Про Державний бюджет України на 2009 рік» та «Про ставки акцизного збору і ввізного мита на деякі товари (продукцію)» від 1 липня 2009 р. ставка акцизного збору за 1000 кг на сумішеві бензини з вмістом не менше як 5% високооктанових кисневмісних добавок або етил-трет-бутилового ефіру, або їх суміші становить 110 євро. Ставка при виробництві високооктанових кисневмісних домішок для бензинів становить 0 євро, а їх виробництво із обов'язковою денатурацією бензином може забезпечуватись державними спиртовими заводами.

У 2009 р. прийнято Закон України «Про внесення змін до деяких законів України щодо сприяння виробництву і використанню біологічних видів палива» для стимулювання виробництва, а також застосування біологічних видів палива та розвитку національного паливного ринку із залученням біомаси, як відновлюваної альтернативної сировини для виготовлення різних біологічних видів палива. Даним законом передбачається такі основні аспекти: перелік тих підприємств, діяльність яких є пов'язана із виробництвом сумішевих бензинів моторних із добавками на базі біоетанолу та добавок на базі біоетанолу. Кабінетом Міністрів України визначається діяльність, яка пов'язана із виробництвом біоетанолу і може проводитись на підприємствах різних форм власності при наявності відповідної ліцензії.

До 1 січня 2014 р. була встановлена нульова ставка акцизного збору на ту частку палива, яка є біокомпонентом у сумішевих видах моторного палива.

Тимчасово, звільняються від оподаткування операції, які пов'язані з доставкою техніки, обладнання чи устаткування.

Починаючи з 1 січня 2010 р. звільняються від оподаткування прибутки підприємств, які отримані ними від діяльності з одночасним виробництвом електричної та теплової енергії та/або виробництвом теплової енергії із

використанням біологічного палива, прибутки виробників техніки, обладнання та устаткування, які отримані від продажів на території України; кошти, які вивільнені в зв'язку із наданням податкових пільг і спрямовуються платником податків на здешевлення продукції; на період до 1 січня 2019 р. для стимулювання надходжень інвестицій для оновлення основних засобів дозволяється застосувати бонусну амортизацію для залучення нових основних засобів, яка віднесеться до частки витрат, які понесені на їх придбання до складу валових витрат, які залишається після запровадження бонусної амортизації; збільшення частки при використанні альтернативних видів палива до 20% від сумарного обсягу споживання палив в Україні до 2020р.; біологічні тих видів палив, які призначені для реалізації як товарної продукції і підлягають обов'язковому сертифікуванню у відповідності до законодавства; запровадження державного реєстру виробників рідких біологічних палив та біогазів та ін.

Прийнятий закон є важливим підґрунтям для формування і використання біоенергетичного потенціалу України, оскільки ним передбачаються суттєві пільги для виробників як біологічного пального, так і виробників техніки, обладнання, устаткування, машин, що сприятимуть зацікавленості інвестувати кошти в галузь біоенергетики.

На сьогоднішній день учені Інституту технічної теплофізики Національної академії наук оцінюють потенціал біомаси в розмірі близько 24,2 млн. т у.п., що відповідає 16,9 млн. т н. е. на рік. Найбільшу питому вагу в загальній кількості біомаси займають: солома зернових культур – 5,6 млн.т у.п./рік, енергетичні культури – 5,1, рідкі біопалива – 2,2.

У прийнятій в 2006 р. Енергетичній стратегії України до 2030 р. Технічно досяжний річний енергетичний потенціал нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії (НВДЕ) України в перерахунку на умовне паливо становить 79 млн. т у.п., із яких економічно досяжний – 57,7 млн. т у.п.

У переважній більшості країн Європейського союзу та світу виробництво біогазу вже сьогодні забезпечує суттєву складову їх енергобалансу. Враховуючи те, що Україна має потужний агропромисловий сектор, який

продукує великі об'єми органічних відходів, також має значні енергетичні ресурси для продукування біогазу.

Однак, на даний час в нашій державі існують тільки поодинокі приклади запровадження біогазових технологій. Річ у тім, що електроенергія, яка вироблена з біогазу, може мати право на встановлення "зеленого" тарифу, проте встановивши такий тариф для всіх видів відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), законодавці в Україні не визначили значення коефіцієнт "зеленого тарифу" для електроенергії, виробленої з біогазу.

Електроенергія, яка вироблена з біогазу, може продаватись за так званим "зеленим" тарифом, який прийнятий згідно Закону України "Про внесення змін до деяких законів України щодо встановлення "зеленого" тарифу" (№ 601-VI від 25.09.2008). Даний закон запровадив визначення (терміну) поняття "зеленого" тарифу, а також уточнив визначення поняття "альтернативні джерела енергії".

"Зелений" тариф – це спеціальний тариф, за яким закупаються електричну енергію, яка вироблена на об'єктах електроенергетики, котрі використовують альтернативні джерела енергії (окрім доменного та коксівного газів, а також з використанням гідроенергії, яка вироблена тільки малими гідроелектростанціями)". Дане визначення уведено до Закону України "Про електроенергетику".

"Альтернативні джерела енергії – це відновлювані джерела енергії, до яких відноситься енергія сонця, вітрова, геотермальна, енергія хвиль, а також припливів, гідроенергія, біогазів, енергія біомаси, газу з органічних відходів, газу виробленого каналізаційно-очисними станціями. Також вторинні енергоресурси, до яких відноситься доменний та коксівний газ, а також газ метан отриманий від дегазації вугільних родовищ, перетворення скидного енерго потенціалу від різних технологічних процесів". Дане визначення уведено до Закону України "Про альтернативні джерела енергії".

З наведених визначень видно, що "зелений" тариф повинен встановлюватися на електроенергію, яка вироблена з альтернативних джерел енергії, до яких також належить біогаз різних видів.

Закон України "Про внесення змін до Закону України "Про електроенергетику" стосовно стимулювання використання альтернативних джерел енергії" (№ 1220-VI від 01.04.2009) на жаль не встановив величини коефіцієнта зеленого тарифу для електроенергії, виробленого з біогазу, в той час, як для всіх інших видів відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) він є встановленим.

Законодавство, яке регулює розвиток альтернативної енергетики в Україні, постійно вдосконалюється. Недавно Верховна Рада ухвалила певні зміни про закону "Про електроенергетику", котрий регламентує діяльність в усіх видах відновлювальної енергетики, а саме вітрової, сонячної, біомаси, біогазу, енергії малих річок, тощо.

При цьому зміни стосувалися підтримки або стимулювання виробництва електроенергетики, виробленої з альтернативних джерел енергії. Головною особливістю стало надання біогазу статусу енергії, яка може претендувати на "зелений тариф".

На перший погляд, здавалося, що для відновлювальних джерел енергії в Україні наступають умови для інтенсивного розвитку. Особливо це стосується тих структур, які розвивають виробництво біогазу.

Окрім цього, виробники альтернативних джерел енергії повинні були б бути впевненими, що виробництво електроенергії з відновлюваних джерел енергії буде зростати, а значить, буде зростати їх частка в енергобалансі України. Тим більше, що альтернативна енергетика має колосальні ресурси і місця для роботи у даному напрямку вистачить усім (саме за це боролися у рамках обговорення оновленої енергетичної стратегії розвитку України до 2030 року). Однак проблем так і не вдалось уникнути.

Сьогодні на дані проблеми варто звернути увагу, оскільки альтернативна енергетика в Україні робить перші кроки і в 2012 році відзначила дворіччя у її розвитку.

На компанії, які працюють у даній галузі, тисне світова криза та конкуренція зі сторони виробників традиційних джерел енергії. В зв'язку з цим

виникають суперечки, які у перспективі можуть зашкодити залученню інвестицій у відновлювальну енергетику.

Для більш широкого розуміння закон "Про електроенергетику", запроваджує "зелений тариф" на електроенергію вироблену з біогазу на рівні із електроенергію, яка виробляється з біомаси. В цьому випадку коефіцієнт для біогазу буде аналогічним, як і в біомаси - 2,3. Також із закону вилучили обмеження, що "зелений тариф" буде надаватись лише новим електростанціям, які працюють на біогазі. Тому "зелений тариф" отримують всі: і вже працюючі об'єкти, а також новозбудовані.

Разом із біогазом в законі появились додаткові "бонуси" для малих гідроелектростанцій. Причому для мікро гідроелектростанцій з потужністю до 200 кВт даний коефіцієнт збільшений майже у вдвічі з 1,2 до 2, а для міні електростанцій, потужність яких перевищує 200 кВт, але не є більшою 1 МВт коефіцієнт підвищили з 1,2 до 1,6. Відповідні зміни сприятимуть тому, що знизиться терміни окупності при будівництві мікро ГЕС і міні ГЕС, а це покращить привабливість для банків в плані виділення кредитів.

Якщо інвестори малих ГЕС залишилися задоволені, то прихильники біомасової енергетики як аргумент порівнюють "зелений тариф" для біогазу із тарифом, котрий отримують підприємства, які інвестують у виробництво сонячної енергетики.

Державним агентством з енергозбереження та енергоефективності була розроблена методика розрахунку тарифів для сонячної, вітрової, біомасової та енергії малих ГЕС. Методика була розроблена у 2008 році, а у 2009 році вона отримала статус закону.

На той час це був прогресивний крок для розвитку альтернативної енергетики.

"Що стосується розвитку біоенергетики то Україна має надзвичайний потенціал в даній сфері, який за підрахунками фахівців становить понад 30 млн. тон умовного палива в рік.

При цьому існує суттєва різниця між вітровою, сонячною, гідроенергетикою та біогазом, а також необхідними умовами розвитку кожного напрямку та окупності інвестицій.

В Україні, як і у всіх країнах світу (від провідної у цій галузі Німеччини до маленької Естонії) "зелені тарифи" для виробників електроенергії із сонячної енергії наразі є високими, так як це нові технології. Однак з часом вони будуть зменшуватись при здешевленні відповідних технологій.

Коли порівнювати тарифи на електроенергію, яка вироблена із сонячної енергії із тарифами для електростанцій, які працюють на біомасі чи біогазі то для споживачів ця різниця буде суттєвою. На це є відповідні причини.

По-перше, електростанція на сонячних панелях виробляє електроенергію лише тоді, коли світить сонце. Як правило це з 8.<sup>00</sup> ранку до 17.<sup>00</sup> вечора. Електростанція, яка працює на біомасі може працювати цілодобово за наявності палива, тобто біомаси. Отож, електростанція на біомасі за певний проміжок часу (день, місяць або рік) завжди виробить більше кіловат електроенергії, а ніж електростанція на сонячних панелях.

По-друге, обладнання для сонячних електростанцій на даний час є у декілька разів дорожчим, ніж обладнання для електроенергії з біомаси.

Таким чином, щоб проекти з впровадження сонячних і біомасових електростанцій однаково були привабливі для інвесторів, то вони повинні мати близький термін окупності інвестицій. В іншому випадку конкурентної боротьби за інвестиції, які прийдуть у галузь, не буде.

Тому тарифи на сонячну електроенергію є вищими, а ніж тарифи на електроенергію, вироблену з біомаси. Така різниця між тарифами встановлена, для того щоб зрівняти сонячну та біомасову енергію за привабливістю. В іншому випадку, якщо тарифи зробити однаковими для всіх видів виробленої енергії, то будувати сонячні чи вітрові станції буде не вигідно, а всі інвестиції будуть спрямовані в біоенергетику.

Фактично на даний Україна практично копіює європейський шлях у розвитку альтернативних джерел енергії, коли за рахунок запровадження різних тарифів держава стимулює застосування сонячних систем в першу чергу у

приватному секторі, а також на дахах будівель і споруд. Як відомо, саме сонячна енергетика наразі є однією з галузей, яка найбільш динамічно розвиваються.

Тому, більш високі значення зелених тарифів, а ніж у Європі це тимчасовий і до певної міри вимушений крок для залучення іноземних інвестицій. До того ж, кредитні кошти в Україні є дорожчі ніж Європейські.

Досить важливим є те, що нововведення до закону "Про електроенергетику" передбачають на півроку відстрочку від запровадження правил "місцевої складової". Попередньо закон вимагав, що для отримання "зеленого тарифу" для електростанції, будівництво якої розпочалося після 2011 року, а закінчилось пізніше 1 січня 2013 року, обсяг матеріалів вироблених в Україні, обладнання та будівельних робіт повинен становити не менш ніж 30%.

У випадку якщо об'єкт було заплановано вводити в експлуатацію після 1 січня 2014 року, то загальний обсяг матеріалів, вироблених в Україні, обладнання, а також та робіт повинен бути не менше як 50%.

Тому знову доцільно згадати про конфлікти, які виникають при виробництві біогазу, з якого почалися зміни до закону. Так, установки для виробництва біогазу отримали привілейований статус. Для біогазових електростанцій введена додаткове відтермінування щодо правил "місцевих складових" у порівнянні з іншими відновлюваними джерелами енергії. Частку в 30% для таких об'єктів потрібно забезпечити починаючи з 2014 року, а 50% – з 2015 року. Таким чином біогазові установки отримали піврічну відстрочку в порівнянні з сонцем, вітром і біомасою.

Необхідне значення величини "зеленого тарифу" для біогазу.

Діючі в Україні для відновлюваних джерел енергії "зелені тарифи" (ЗТ) і їх порівняння з "зеленим тарифом", що пропонується для виробництва біогазу приведені в таблиці 1.1.

Для того, щоб проекти з виробництва біогазу були цікаві інвесторам, величина коефіцієнту зеленого тарифу повинна встановлюватись на такому рівні:

-  $K = 3,0$  – для електроенергії, яка виробляється з біогазу, що отриманий з біомаси та відходів сільського виробництва;

-  $K = 2,7$  – для всіх інших видів отриманого біогазу, зокрема біогазу, який вироблений з твердих побутових відходів (ТПВ), з органічної частини ТПВ, а також стічних вод, їх осадів.

При таких значеннях величини зелених тарифів інвестиційні проекти з виробництва біогазу матимуть дисконтований термін окупності біля 7-10 років, що є мінімально необхідним для активного залучення інвесторів у виробництво біогазу.

Без впровадження привабливих коефіцієнтів зеленого тарифу такі терміни окупності складатимуть близько 45 років.

Таблиця 1.1.

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)	$4,8 \times 1,8$	46,53	505,09
Сонце (мін)	$4,4 \times 1,8$	42,65	463,00
Біогаз із с/г сировини	3,0	16,16	175,38
Біогаз з інших видів	2,7	14,54	157,84
Біомаса	2,3	12,39	134,46
Вітер (макс)	2,1	11,31	122,77
Вітер (мін)	1,2	6,46	70,15
Гідро (до 10 МВт <sub>е</sub> )	$0,8 \times 1,8$	7,75	84,18



## 1.2. Світове прогнозування розвитку відновлюваних джерел енергії

На даний час відновлювальні джерела енергії посідають значне місце в енергобалансах передових країн світу.

З аналізу літературних джерел, та статистичних даних близько 13% енергії у світі в 2008 році було вироблено з ВДЕ, переважна частина з яких складала біомаса - 9,9%, від первинної енергії виробленої світі.

З 1991 року споживання енергії, виробленої з ВДЕ в Європейському союзі збільшилося у два рази і в 2009 р. відповідно становило 153 млн. т у.п./рік, або 9% від загального енергоспоживання. Енергія з біомаси становить 107,1 млн. т у.п./рік або 70% від всієї енергії з відновлюваних джерел.

У відповідності до офіційного прогнозу Єврокомісії відносно структури виробництва електроенергії з ВДЕ у Європейському союзі 2020 р. частка електричної енергії, яка вироблена з біогазу буде значною, і перевищить виробництво електроенергії з малої гідроенергетики, сонячної та геотермальної енергетики, а також електроенергії, виробленої з різноманітних технологічних відходів.

Прогноз Європейської Комісії про ріст виробництва електроенергії із відновлювальних джерел енергії до 2020 року представлено на рис.1.1.

Виробництво електричної енергії у Європейському союзі за останні роки знаходиться на рівні 3200...3300 ТВт·год/рік.

Частка ВДЕ займає близько 17% від загального обсягу виробництва електроенергії. Серед відновлюваних джерел перше місце з виробництва електроенергії займає гідроенергетика (57% від всіх ВДЕ), на другому та третьому місцях знаходяться вітрова енергія (21%) та енергія біомаси (19%).

В загальному, за рахунок поновлюваних джерел енергії в ЄС до 2020 року повинно бути забезпечено близько 34% від загального споживання електроенергії.

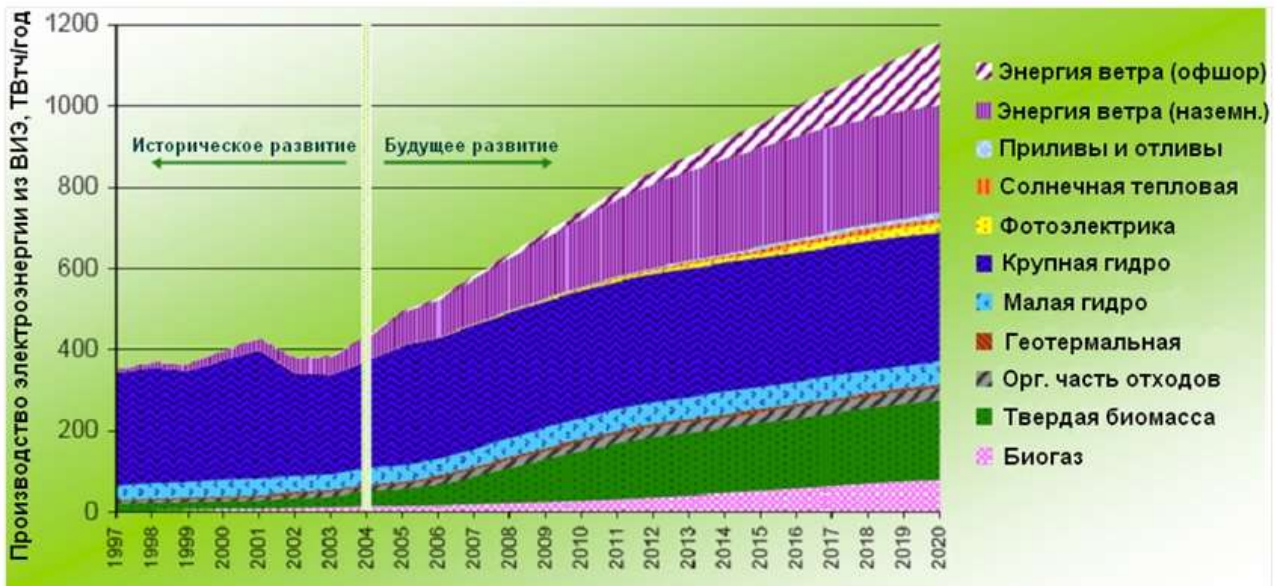


Рис.1.1. Прогноз Європейської Комісії про ріст виробництва електроенергії з відновлювальних джерел енергії до 2020 року

Електроенергія, вироблена з біомаси (тверда біомаса, біогаз, органічні відходи,) має потроїтися, складаючи близько 300 ТВт·год/рік.

Біогаз у країнах Європейського союзу та світу на сьогоднішній день є суттєвою складовою їх енергобалансу. За даними літературних джерел, в ЄС в 2009 році було вироблено 8,3 млн. т н.е. біогазу (еквівалентно 10,3 млрд. м<sup>3</sup> природного газу/рік).

Основним лідером у виробництві біогазу серед країн ЄС є Німеччина, у якій на даний час налічується понад 7100 біогазових установок із встановленою потужністю 2780 МВт, на яких виробляється 18 млн МВт·год/рік електроенергії (це складає більш як 50% від загального виробництва біогазу в ЄС).

Сумарний приріст виробництва біогазу у Європейському союзі у 2009 році в порівнянні із 2007 роком склав близько 41% при темпах зростання понад 20%/рік.

Прогнозується, що у відсотковому вимірі зростання обсягів виробництва енергії з поновлювальних джерел перевищить темпами зростання виробництва інших видів енергії. Згідно оцінок аналітиків, ринок виробництва біогазу продовжить інтенсивно розвиватися у майбутньому, заміщаючи при цьому інші енергоносії у загальній структурі енергобалансу країн.

### 1.3. Сучасний стан та перспективи розвитку біоенергетики в Україні

Енергетична безпека України суттєво залежить від ступеня диверсифікованості енергоносіїв та обсягів використання імпортованих палив. Тому скорочення споживання природного газу та широке впровадження відновлюваних джерел енергії є актуальними задачами, що стоять сьогодні перед країною.

На сьогодні основним паливом в Україні залишається природний газ – його частка в структурі споживання первинних енергоносіїв складає близько 40%. При цьому, за рахунок власних запасів Україна забезпечує себе газом лише на 35%, тоді як 65% необхідного обсягу приходится імпортувати, в першу чергу, з Росії. До того ж вартість природного газу з 2005 року постійно зростає. На вугілля припадає 28% загального споживання первинних енергоносіїв, на нафту та нафтопродукти – 12%, на атомну енергію – 18%. Внесок відновлюваних джерел енергії до енергобалансу становить 2,5%, у тому числі великої гідроенергетики – 2%. З біомаси виробляється лише близько 0,5% загального обсягу енергії.

Серед усіх відновлюваних джерел енергії біомаса є найбільш перспективним джерелом, оскільки, по-перше, Україна має великі її запаси, доступні для енергетичного використання; по-друге, її застосування як палива призводить до прямого заміщення природного газу.

Оцінка, виконана фахівцями Інституту технічної теплофізики НАН України, показує, що економічно доцільний потенціал біомаси становить близько 30 млн. т у.п./рік, що може задовольнити до 18% потреби України у первинній енергії. Основними складовими потенціалу є відходи сільського господарства та енергетичні культури. При цьому, сільсько-господарські відходи є реальною складовою, яку можна сьогодні використовувати для виробництва енергії. Енергетичні культури представляють зараз «віртуальну» частину потенціалу, оскільки їх вирощування в Україні обмежується зараз кількома дослідними та експериментальними плантаціями. Виробництво енергетичних культур на промисловому та комерційному рівні ще не

розпочалося, але загальна тенденція показує, що швидкого розвитку цього напрямку можна очікувати вже в найближчому майбутньому.

Однією із суттєвих переваг біомаси є її відносна дешевизна порівняно з традиційними паливами, у першу чергу, з природним газом. Вартість більшості видів твердих біопалив у перерахунку на одиницю енергії (ГДж) суттєво менша вартості природного газу для промислових споживачів. Деревні гранули найдорожчі серед твердих біопалив, навіть дорожчі за природний газ для житлово-комунального господарства і населення. Це можна пояснити тим фактом, що ціна природного газу для цих категорій споживачів штучно занижена порівняно з ринковим рівнем.

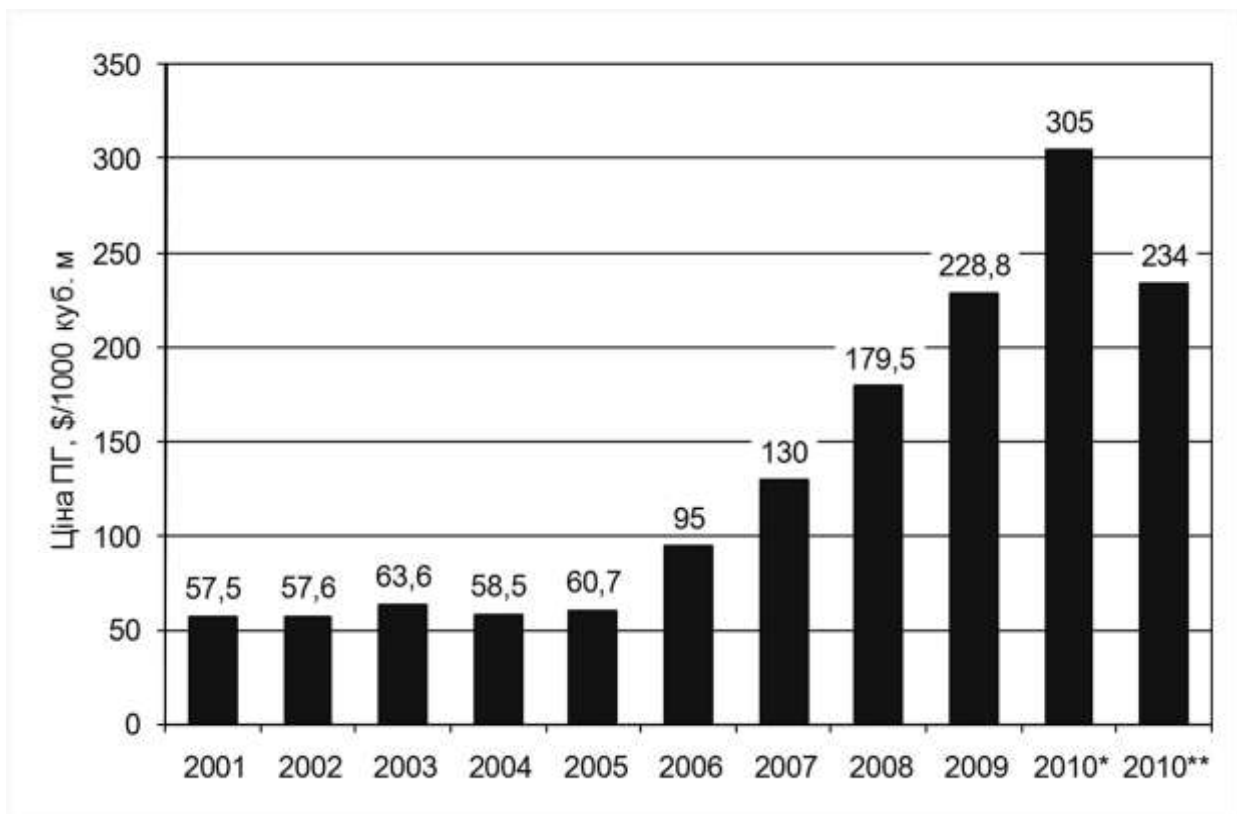


Рис 1.2. Ріст оптової ціни природного газу на кордоні України

За існуючих цін на викопні палива, теплову енергію та біомасу впровадження котлів на біомасі для виробництва теплової енергії є економічно доцільним і може рекомендуватися сьогодні практично для всіх об'єктів теплоенергетики, тобто в бюджетному, комунальному та промисловому секторах. Термін окупності при впровадженні котлів на деревині та соломі –

близько двох років. Відносно низькі ціни на природний газ для населення і ЖКГ господарства є основною перешкодою для широкого застосування біомаси як палива.

Згідно з виконаними оцінками, ємність ринку України для впровадження котлів на біомасі становить 57100 одиниць загальною встановленою потужністю 8180 МВт. Введення в експлуатацію цього обладнання призведе до заміщення 4,8 млрд. м<sup>3</sup>/рік природного газу. Вартість заміщеного газу становить 12,8 млрд. грн. (за ціни 2638 грн./1000 м<sup>3</sup>). Вартість біомаси, необхідної для роботи біоенергетичного обладнання, – 2,6 млрд. грн. (за середньої ціни 200 грн./т). Тоді сумарна річна економія коштів завдяки заміщенню природного газу біомасою становить  $12,8 - 2,6 = 10,2$  млрд. грн., що у 1,8 рази більше від величини загальних інвестиційних витрат, необхідних на впровадження запропонованого парку котлів. Важливо, що ця економія коштів повторюватиметься з року в рік.

На сьогодні в Україні працюють близько 20 котлів на тюкованій соломі потужністю до 1 МВт, встановлених, переважно, у сільських школах та на сільськогосподарських підприємствах. Більше 1,5 тис. котлів потужністю понад 100 кВт виробляють теплову енергію з деревної біомаси. З них близько тисячі – це досить старі котли самостійно переведені підприємствами лісової та деревообробної галузей з вугілля та мазуту на спалювання деревних відходів. У перспективі їх доцільно замінити на сучасні деревноспалюючі котли з більш високим ККД та суттєво кращими показниками по емісії шкідливих речовин.

У секторі електроенергії з біомаси ситуація змінюється на краще після введення нового порядку розрахунку «зеленого» тарифу на електроенергію, вироблену з відновлюваних джерел енергії. Цей порядок розрахунку висвітлений у Законі України «Про внесення змін до Закону України «Про електроенергетику» щодо стимулювання використання альтернативних джерел енергії» (від 01.04.2009 № 1220-VI) та Постанові НКРЕ «Про затвердження змін до Порядку встановлення, перегляду та припинення дії «зеленого» тарифу для суб'єктів господарської діяльності» (від 16.07.2009 № 828). З урахуванням впливу «зеленого» тарифу, на період до 2020 р. можна рекомендувати

впровадження такого обладнання для виробництва електроенергії з біомаси: міні-ТЕЦ на деревині, міні-ТЕЦ на соломі, когенераційні установки на біогазі з гною та інших відходів, міні-електростанції на біогазі з полігонів твердих побутових відходів.

Україна має добрі передумови, а також достатній потенціал для інтенсивного розвитку сектору біоенергетики. Головними рушійними силами даного процесу є постійне зростання цін на традиційні види енергоносіїв та наявність значного потенціалу біомаси, яка доступна для енергетичного застосування. Закон про біопалива та закон стосовно «зеленого» тарифу сприяють для впровадження біоенергетичних технологій з метою виробництва теплової та електричної енергії.

Ефективність процесів розвитку біоенергетики в Україні значно залежить від координації робіт у даному секторі та вірного вибору пріоритетів. На урядовому рівні повинен бути визначений єдиний державний орган, котрий би займався усіма питаннями в біоенергетичному секторі та координував роботу інших суміжних організацій та установ.

Пріоритетні напрямки розвитку повинні бути визначені державною програмою розвитку біоенергетики в Україні при забезпеченні її фінансування. Наступні вдосконалення також необхідні у чинних законах стосовно стимулювання виробництва, а також споживання біопалив та стосовно «зеленого» тарифу. Додатково у законодавчому порядку пропонується звільнити біопалива від ПДВ та ввести державну субсидію на закупку біоенергетичного обладнання у розмірі 20% від його вартості. Одним з головних бар'єрів при розвитку сектора біоенергетики в Україні є перекося цін на природний газ для споживачів різних категорій. Штучно занижені ціна на газ для населення та житлово-комунального господарства робило практично неможливим впровадження біоенергетичних технологій в побутовому секторі та ЖКГ.

Національні цілі із внеску біомаси до сумарного споживання первинних енергоносіїв повинні бути зафіксовані в офіційних документах, наприклад такому як план дій по біомасі. Передбачалось, що реально досяжними могли

бути такі показники: 2010 р. – 1% (що еквівалентно споживанню близько 2 млн.т.у.п.), 2020р.– 5%, 2030р. – до 10%.

В Україні можна знайти поодинокі приклади впровадження у виробництво біогазових технологій.

Перша біогазова установка, яка працювала на базі відходів тваринництва була побудована у 1993 році на свинофермі при комбінаті "Запоріжсталь".

Далі були побудовані біогазові установки компаніями "Агро-Овен", "Еліта", коньячний завод м. Вознесенськ, "Українська молочна компанія".

Декілька прикладів впроваджених у виробництво інноваційних проектів в секторі біогазу з полігонів твердих побутових відходів (ТПВ) в містах Алушта, Львів, Маріуполь, Луганськ, та на станціях очищення стічних вод в місті Києві.

У цілому в аграрній Україні діє близько 10 біогазових установок, жодна з яких не досягала належної рентабельності без державної підтримки.

При цьому, потужний агропромисловий комплекс України, що виробляє значні об'єми органічних відходів, створює необхідний енергетичний ресурс для виробництва біогазу в обсягах, які можуть замістити 2,6 млрд.м<sup>3</sup> природного газу/рік. При подальшому інтенсивному розвитку сільського господарства даний потенціал може зрости до 7,7 млрд.м<sup>3</sup>/рік у еквівалентному перерахунку на природний газ.

Потенційні об'єми біогазового ринку в Україні реально можна освоїти лише до 2020 р. Лише відходів тваринництва є достатньо для будівництва в Україні близько 4000 біогазових установок.

Однак передумовою для реалізації таких проектів на першому етапі розвитку є введення відповідного зеленого тарифу для виробленої електроенергії з біогазу.

Потім паралельно з виробництвом електроенергії можна застосовувати нові технології з виробництва біометану, який зможе замінюватиме природний газ.

На сьогоднішній день доцільною є розробка національного проекту "Енергія з біогазу", а сектор розвитку біоенергетики та біогазу потребує адекватної оцінки, а також підтримки зі сторони держави.

За офіційними даними собівартість при виробництві електроенергії з біогазу фактично знаходиться на одному рівні із собівартістю електроенергії, яка вироблена з інших відновлюваних джерел енергії, а також є значно дешевшою ніж собівартість виробництва сонячної електроенергії.

Собівартість та її прогноз виробництва електроенергії за різними технологіями у 2007, 2020 та 2030 роках представлено на рис.1.2.

Не можна погодитись з тезою аналітиків про те, що Україні вартість електроенергії, яка виробляється з біогазу, після закінчення дії зеленого тарифу у 2030 року буде вищою, а ніж вартість виробництва традиційної електроенергії з не відновлювальних джерел енергії.

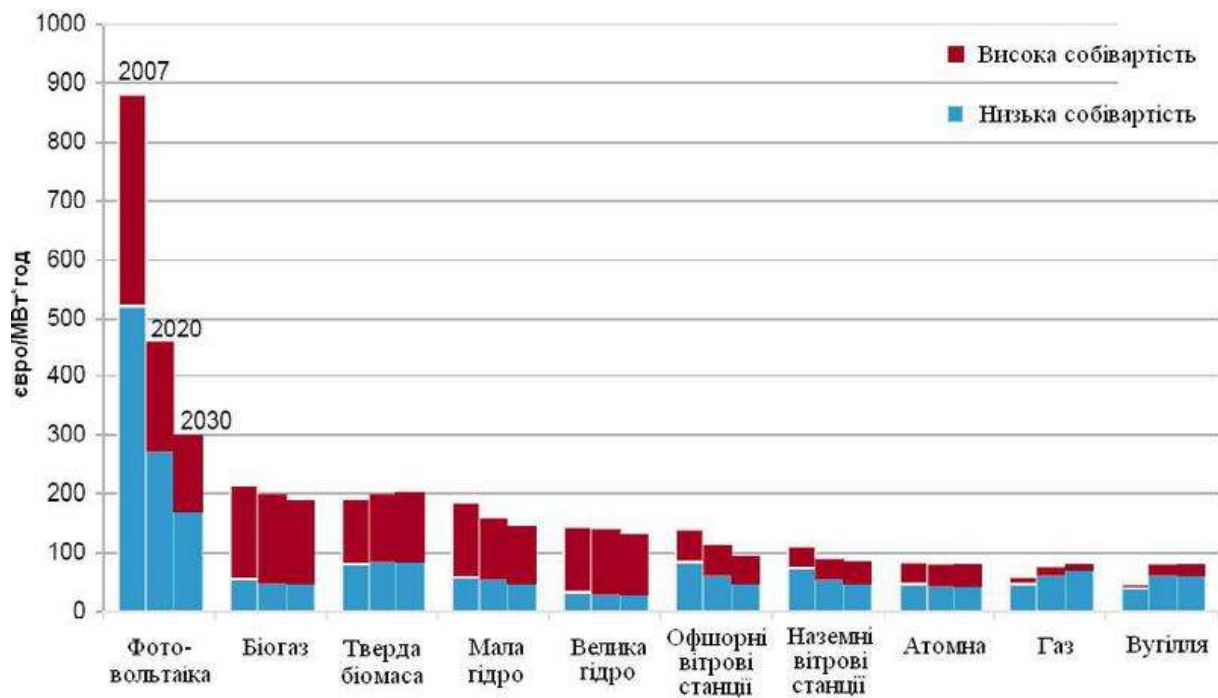


Рис.1.3. Собівартість та її прогноз виробництва електричної енергії за різними технологіями у 2007, 2020 та 2030 роках

Для спростування таких тверджень на рис.1.3. наведена фактична статистика динаміки цін на виробництво традиційної електроенергії в Україні за останні роки та зелений тариф для біомаси та біогазу.



З даного рисунку можна зробити висновок, якщо такий тренд росту цін на електроенергію не буде змінюватись то роздрібні ціни на електроенергію 2 класу напруги вирівняються із зеленим тарифом для біомаси приблизно в 2015 р, а для біогазу – в 2017 р.

В той же час собівартість виробництва електричної енергії з біогазу буде нижчою ніж собівартість виробництва електричної енергії з традиційних енергоносіїв раніше ніж у 2030 р. (очікується що у 2017 р).

У січні 2012 були опубліковані пропозиції Держенергоефективності стосовно внесення змін в стратегічний розвиток енергозабезпечення України до 2030 р. в плані використання відновлювальних джерел енергії (таблиця 1.2).

Дивним є те, що всупереч до європейських і світових тенденцій розвитку відновлювальних джерел енергії в наведених пропозиціях взагалі не передбачається розвиток біоенергетики (така колонка в наведеній таблиці навіть не передбачена).

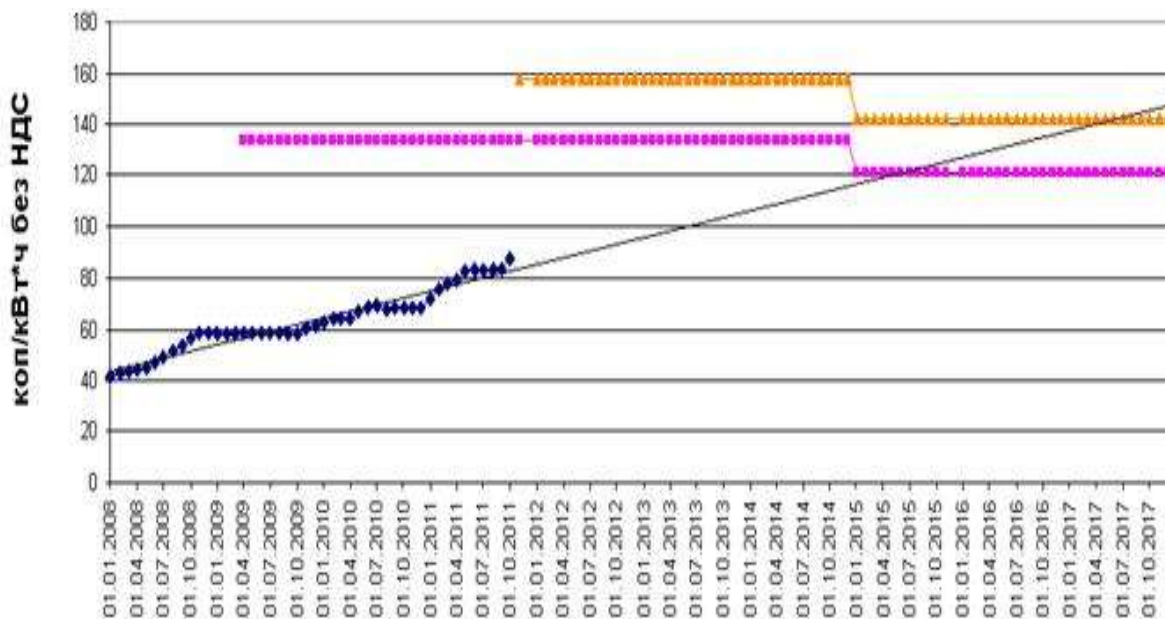


Рис.1.4. Динаміка змін тарифу на електроенергію для споживачів 2-го класу традиційної електроенергії (нижня крива) і їх порівняння з зеленим тарифом для електроенергії, виробленої з біомаси (середня крива) та біогазу (верхня крива)

Такі пропозиції демонструють упереджене та необ'єктивне відношення Держенергоефективності до галузі біоенергетики та завдають шкоди

національним інтересам України і лобіюють окремі комерційні структури. В даному контексті упереджена позиція даного відомства стосовно зеленого тарифу на виробництво біогазу не є випадковою.

Таблиця 1.2

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

Рік	Загальний рівень встановленої потужності відновлюваної енергетики, ГВт	Вітрові електро-станції, ГВт	Сонячні електро-станції, ГВт	Малі гідроелектро-станції, ГВт
2015	6,4	4	2,2	0,2
2020	9	5,6	3	0,4
2025	13	8	3,8	1,2
2030	17	10	4,6	2

#### **1.4. Аналіз типових інвестиційних проектів будівництва біогазових установок**

Проведено аналіз типових інвестиційних проектів для будівництва біогазових установок за умови дії різних тарифів ("зеленого" тарифу у 175 коп. за кВт·год, 134 копійок за кВт·год а також звичайного тарифу у 105 коп. за кВт·год).

Проведено аналіз чотирьох ключових показників: ставку внутрішньої дохідності проекту, дисконтований та звичайний терміни окупності, а також дисконтовані кумулятивні грошові потоки за проектом.

Результати проведеного аналізу дисконтованих грошових потоків представлено на рис. 1.4.

Як видно з рисунку, проект із зеленим тарифом у 105 копійок має від'ємні кумулятивні грошові потоки до 2042 року, що, звичайно, не є прийнятним для будь-якого інвестора.

При цьому, потоки для проектів, які змодельовані на основі "зеленого" тарифу у 134 коп./кВт·год та 175 коп./кВт·год, переходять у прибуткову зону значно раніше, а тому є привабливими для потенційних інвесторів.

Аналіз встановлених показників для внутрішньої ставки дохідності, а також дисконтованого терміну окупності запровадження проекту підтвердили попередні висновки.

Проект при величині зеленого тарифу у 105 коп./кВт·год має строк окупності близько 30 років при ставці дохідності 11%.

При цьому, запропонований проект за умови дії величини коефіцієнту зеленого тарифу у 134 коп./кВт·год та у 175 коп./кВт·год має термін окупності відповідно у 13,0 та 8,5 років, при ставці дохідності 14% та 21%.

Таким чином, зроблено висновок, що реалізація проекту будівництва біогазового заводу при дії величини зеленого тарифу на продаж електроенергії у 105 коп./кВт·год не є інвестиційно-привабливим для інвесторів.

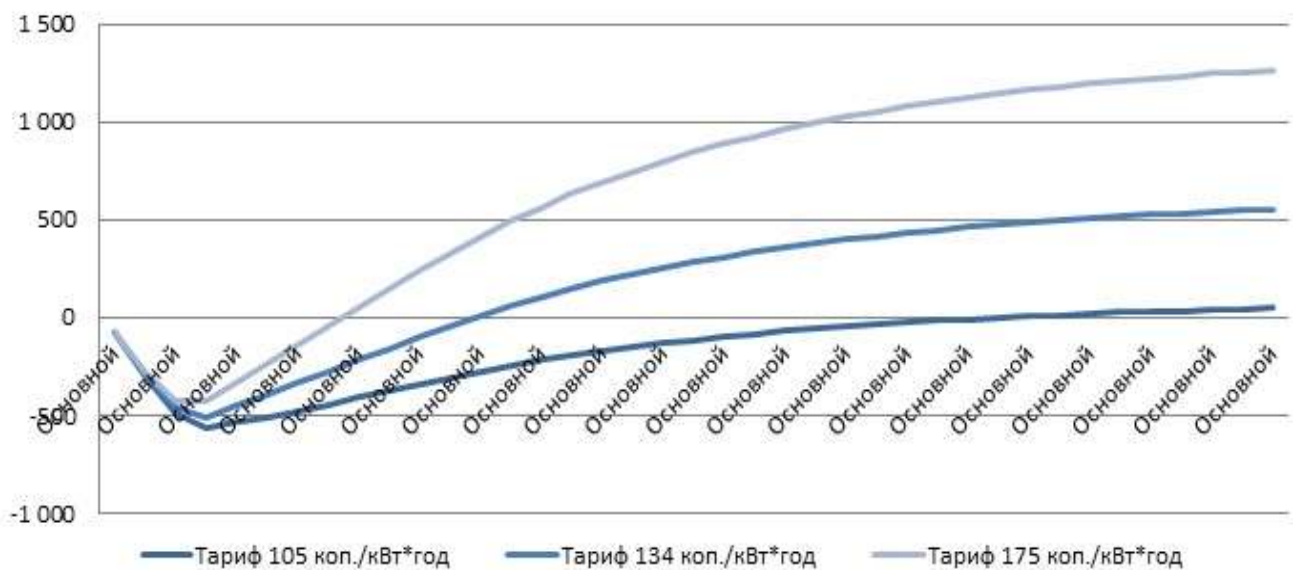


Рис. 1.5. Моделювання кумулятивних грошових потоків для проектів будівництва типових біогазових заводів при умові дії величини різних зелених тарифів

При цьому, розробка та реалізація проекту при дії "зеленого" тарифу може зацікавити ряд середньо- та довгострокових інвесторів до реалізації вищезазначених проектів.

Подібні розрахунки при необхідних значеннях зелених тарифів також виконані для інших типових проектів з виробництва біогазу:

- для біогазової установки потужністю 440 кВт ел, що встановлена на свинофермі (таблиця 1.3);
- для системи збирання та утилізації відходів на полігонах твердих паливних відходів для міста з населенням 100 тис. мешканців (таблиця 1.4).

Об'єкт: свинокомплекс, який складається з 20 тис. голів + 30 т/добу силосу кукурудзи.

Інвестиції: 1,34 млн. Євро (~ 3000 Євро/кВт ел).

Об'єм метантенків: 5000 м<sup>3</sup>.

Вихід біогазу: 5380 м<sup>3</sup>/добу.

Виробництво біогазу на полігонах ТПВ для міста з населенням 100 тис. мешканців.

Встановлена потужність: 380 кВт ел.

Інвестиції: 1,22 млн. Євро (~ 3200 Євро/кВт ел).

Об'єм отриманого біогазу: 4500 м<sup>3</sup>/добу.

Таблиця 1.3

Економічна ефективність проекту біогазової установки потужністю 440 кВт

Сценарії	1	2	3	4
Коефіцієнт зеленого тарифу	3,2	3	3	3
Вартість силосу кукурудзи, грн/т	200	170	200	200
Реалізація надлишку теплоти, % від виробленої нетто	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

На основі проведеного аналізу, встановлено, що висновки співпадають з попереднім проектом: при зелених тарифах  $K = 3,0$  та  $K = 2,7$  типові проекти по виробництву біогазу будуть мати дисконтований термін окупності проектів в межах 8-10 років.

Зелений тариф на біогаз в країнах ЄС.

Наразі зелений тариф на відновлювані джерела енергії діє у 21 країні Євросоюзу та 41 країні світу.

В таблиці 1.5. наведено величини коефіцієнтів зелених тарифів для біогазу в країнах ЄС і їх порівняння із ЗТ, що пропонуються для біогазу в Україні (коефіцієнти 3,0 та 2,7), Євроцентів/кВт·год.

Як видно, при застосуванні в Україні ЗТ для біогазу з коефіцієнтами  $K = 3,0$  та  $K = 2,7$  Україна могла би знаходитись на 6-му місці при величині такого тарифу серед десяти країн ЄС, які мають найбільш кращі результати при біогазовому виробництві.

Тобто зелені тарифи, що пропонуються для виробництва біогазу, мають середнє для ЄС цінове значення.

## Величини коефіцієнтів зелених тарифів для біогазу

Країна	ЗТ для біогазу,	Євроцентів/кВт·год
	min	max
Німеччина	7,79	28,67
Італія		28
Болгарія	17,13	22,14
Австрія	13	18,5
Чехія	14	17
Україна (К=3,0)		16,16
Україна (К=2,7)		14,54
Іспанія	8,63	14,11
Великобританія	8,05	10,36

**1.5. Висновки до першого розділу**

На основі результатів першого розділу можна зробити наступні висновки.

Проаналізовано основні законодавчі акти та нормативно-правова база щодо розвитку біоенергетики.

Наведені результати досліджень щодо світового прогнозування розвитку відновлюваних джерел енергії.

Визначено сучасний стан та перспективи розвитку біоенергетики в Україні.

Проведено аналіз типових інвестиційних проектів для будівництва біогазових установок.

Загальна частка ВДЕ складає на даний час понад 9% від сумарного споживання енергії в ЄС. Основною метою є досягнути даного показника до 20% у 2020 р.

Вклад біоенергетики в загальний енергобаланс складає 107,1 млн.т н.е., тобто близько 70% від загального вкладу ВДЕ в енергобаланс країн Європейського союзу.

Інтенсивний розвиток біогазових технологій та їх впровадження в Україні здатний здійснити заміщення від 3 до 8 млрд. м<sup>3</sup>/рік природного газу.

Для того щоб проекти з виробництва біогазу були цікавими потенційним інвесторам, коефіцієнт зеленого тарифу необхідно встановити на такому рівні:

$K = 3,0$  – для електроенергії, котра виробляється з біогазу, що отриманий з біомаси та відходів виробництва сільського господарства;

$K = 2,7$  – для інших видів виробленого біогазу, а саме біогазу, виготовленого з твердих побутових відходів (ТПВ), а також органічної частини ТПВ, стічних вод і осадів.

При таких зелених тарифах:

- типові проекти з виробництва біогазу будуть мати дисконтований строк окупності проектів біля 7-10 років, що є мінімально необхідним для залучення інвесторів у дану галузь;

- Україна буде знаходитись на шостому місці за величиною цього тарифу серед десяти найбільш розвинених у виробництві біогазу країн ЄС. Таким чином зелені тарифи, які пропонуються запровадити для біогазу, будуть знаходитись на середньому рівні серед країн ЄС-27;

- розвиток передових біогазових технологій дозволить внести значний вклад у підвищення енергетичної незалежності України, також створить альтернативний газовий ресурс, забезпечить зменшення гостроти покриття пікових навантажень при енергозабезпеченні, а також сприятиме розвитку місцевої економіки;

- стимулюючи виробництво електроенергії, виробленої з біогазу та біометану, Україна одночасно підвищить рівень екологічної безпеки на переважній частині своєї території, так як відходи птахівництва, тваринництва, харчової та переробної промисловості вже на сьогодні складають загрозу здоров'ю населення, екологічного стану ґрунтів, повітря, а також підземних

водних ресурсів. Застосування біогазових технологій – це один з основних і раціональних шляхів для знешкодження органічних відходів;

- перероблені відходи таким чином є цінними органічними добривами, які здатні підвищувати родючість та екологічну безпеку ґрунтів, як одного з найцінніших ресурсів держави та підвищувати конкурентоздатність сільськогосподарської продукції;

- будівництво біогазових установок та відповідної інфраструктури із поступовим переходом на виробництво та застосування власного обладнання додатково стимулюватиме українську економіку. Інвестиції у цю галузь можуть сягнути до 30 млрд. гривень в довгостроковій перспективі;

- доцільно розробку та затвердити національний проект "Енергія з біогазу";

- галузь біоенергетики і виробництва біогазу потребує підтримки з боку держави.



## РОЗДІЛ 2

# СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ ТА ЇХ ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ

### 2.1. Загальна модель процесу утворення біогазу

Процес виробництва біогазу (біогаз-процес), в першу чергу, є біологічним процесом, при якому анаеробно розщеплюється органічна субстанція. Це означає, що субстрат розкладається за відсутності кисню.

Анаеробні мікроорганізми зустрічаються в природі скрізь там, де не має кисню для розкладання органічного матеріалу: на ґрунті біля водойм чи на болотах (вогниками є запалений біогаз), в рубці жуйних тварин і у біогаз-процесі.

При біогаз-процесі утворюється біогаз і залишки бродіння. Біогаз складається, в основному, з метану багатого на енергію та із вуглекислого газу, а також із залишкових газів, таких, як аміак, сірководень і водяна пара. Залишки бродіння використовуються органічні добрива за нормальних умов в природному кругообігу речовин.

Розщеплення субстратів, а також органічних речовин відбувається в залежності одні від одних за допомогою різноманітних мікроорганізмів (бактерій і архей). Мінералізація до метану відбувається дуже ефективно, тут організми можуть анаеробно відносно мало виробляти енергії. Відповідно до цього розщеплення відбувається повільніше, а ніж в компостуванні, яке проводиться порівняно небагатьма організмами швидше. Але при компостуванні не утвориться метан багатий на енергію, в придатній для використання мірі так, що там не буде вироблено первинного енергоносія.

Розщеплення субстратів за допомогою мікроорганізмів в біогаз-процесі ділиться на наступні етапи: гідроліз, підкислення (ацидогенез), утворення оцтової кислоти (ацетогенез) і утворення метану (метаногенез).

Мікроорганізми, в залежності від їхньої продуктивності на окремих етапах розщеплення називаються: гідролітично-ацидогенні, ацетогенні і метаногенні

мікроорганізми (бактерії, а також археї). На різноманітність мікроорганізмів, ріст і їх діяльність особливо впливає температура бродіння, значення рН, наявність поживних речовин, тривалість перебування у ємності, а також інші фактори.

В методологічно-технічній практиці процес утворення біогазу, при якому мікроорганізми проводять бродіння, розподілений на три області температури:

- термофільна область температури, знаходиться при температурі приблизно між 45 і 55°C;
- мезофільна область температури - при температурі приблизно між 30 і 44°C;
- психрофільна область температури – при температурі менше ніж 30°C.

Розщеплення субстрату, бродіння і виробництво біогазу відбувається швидше, як правило, при вищих температурах, тому тривалість перебування субстрату у ферментері відповідно може зменшуватися. Проте різноманітність організмів в термофільній області температури відносно низька, що робить термофільний процес чутливим до коливань температури. У мезофільній області температури переважає більша різновидність мікроорганізмів, тому процес – стабільніший.

Для гідролітично-ацидогенних бактерій значення рН повинно знаходитися в оптимальній області від 4,7 - 7,0, для метаногенних архей – оптимальна область від 6,8 - 7,8.

Розщеплення а також перетворення органічного матеріалу відбувається у співпраці різноманітних груп бактерій і архей. При цьому великі органічні молекули розпадаються на більш дрібні, простіші молекули до метану і вуглекислого газу.

На першій стадії гідролізу великі органічні молекули з групи вуглеводів, білків, жирів чи лігніноцелюлози за допомогою ферментів, які виробляються мікроорганізмами, розкладаються на більш дрібні фрагменти, такі як олігосахариди (вуглеводи), олігопептиди (білки), тригліцериди чи лігнін або цукор. Також частково утворюються ще менші фрагменти, як моносахариди

(наприклад глюкоза), амінокислоти (наприклад аланін), жирні кислоти чи гліцерин.

При деяких реакціях водень і вуглець вже попередньо розчеплені або сформовані. Коли вихідні продукти містять багато сірки чи кисню, (наприклад білки в рідкому гної, конюшині чи траві) попередньо може утворитися сірководень чи аміак. Лігнін у цій стадії за анаеробних умов вже не набагато більше розщеплюється. Тільки моносахариди з лігніноцелюлози можуть служити в якості поживи.

На наступному етапі, підкислення (Acidogenese), окремі цукри (моносахариди), амінокислоти чи жирні кислоти розщеплюються за допомогою гідролітично-ацидогенних бактерій та перетворюються на легкі леткі жирні кислоти, такі як валеріанова кислота (C5), масляна кислота (C4), пропіонова кислота (C3), молочна кислота (C3), оцтова кислота (C2), а також на спирт і воду. Гідроліз і ацидогенез найчастіше проводиться через мікроорганізми безпосередньо один за одним. Через це ці етапи методологічно не можна поділити. Перед усім на етапі ацидогенезу знову і знову водень і вуглець, а також сірководень і аміак будуть розчеплятися чи вироблятися.

На наступному етапі у формуванні оцтових кислот (ацетогенез) бактерії можуть перетворювати продукти реакції такі, як пропіонову або масляну кислоти на оцтову кислоту, для їх власного метаболізму тільки з меншим виходом енергії. Жирні кислоти по частинах розщеплюються з ацидогенезу і ацетогенезу (синтропне окислення жирних кислот), воно є дуже енергетично виснажливим і при ньому також виникають водень і оцтова кислота, які навантажують систему.

Водню і оцтовій кислоті надають ключову роль, тому що тільки коли в життєвому середовищі бактерій (менше парціального тиску водню і оцтових кислот, а також гальмування кінцевої продукції) в наявності дуже мало водню і оцтової кислоти, то бактерії можуть і далі перетворювати або розщеплювати жирні кислоти.

Видалення водню і оцтової кислоти з життєвого середовища бактерій забезпечують гідрогенотропні (використовуючи водень) і ацетокластні

(розщеплюючи оцтову кислоту), метаногенні археї з утворенням метану (метаногенез).

Водень і оцтова кислота служать поживними речовинами для метаногенних архей. При гідрогенотропних, які використовують водень, шлях формується з водню, вуглекислого газу і водяної пари.

При ацетокластних, розщеплюючи оцтову кислоту, шлях формується з оцтової кислоти і водню, метану і вуглекислого газу.

При гідрогенотропному шляху буде вивільнятися особливо багато енергії. Цієї енергії знову і знову потребують бактерії при розщепленні жирних кислот, тут ця реакція, як показано, є енергетично виснажливою. Метаногенні археї цю енергію ділять з бактеріями і методологічна поведінка майже симбіотична, тому бактерії, які розщеплюють жирні кислоти називають також синтрофними (харчуються спільно).

Через утворений  $\text{CO}_2$  або карбонатну буферну систему ( $\text{HCO}_3^-/\text{CO}_3^{2-}$ ) легко утворюється алкалітичне середовище (рН 6,8 - 7,8). В цьому оптимальному для метаногенних архей життєвому середовищі протікає оптимально метаногенез.

Якщо синтрофні бактерії і метаногенні археї спільно харчуються, то ці обидва партнери також часто знаходяться в спільних колоніях. Через це слід уникати інтенсивного змішування в ферментері. Тому що це призведе до розподілу видів, які разом працюють.

Всі запуснені процеси в БГУ протікають одночасно, але не з однаковою швидкістю. Крок лімітної швидкості утворення біогазу може бути дуже різний в залежності від стану. Спеціально целюлоза і геміцелюлоза з лігніноцелюлози, які зустрічаються в рослинних складових, тільки повільно гідролізуються за допомогою бактерій. Коли велика кількість зв'язків, які легко розщеплюються, надходить, то утворення метану може бути прирівняне до кроку лімітної швидкості.

З різноманітних складових субстратів, як вуглеводи, білки, жири і лігніноцелюлоза за допомогою мікроорганізмів можна виробити різну кількість метану на одиницю маси. Вуглеводи постачають біогаз з вмістом метану від

50%, у той час чисті жири і білки постачають вищу частку метану і разом з тим біогаз, багатший на енергію.

В загальному, потрібно звернути увагу на те, щоб ферментер не був переповнений, в іншому випадку гідролітично-ацидогенні бактерії будуть виробляти за швидко і за багато кислот, що призведе до зниження значення рН, яке є за низьким для метаноутворюючих архей і процес після вичерпання буферної здатності може призвести до повної зупинки.

Деякі речовини, такі як сірководень чи амоніак, котрі виробляються з субстратів багатих на білки і жири (коли вони не можуть застосовуватися для новоутворення мікробної субстанції, у високих концентраціях), є токсичними для мікроорганізмів, які беруть участь у розщепленні. Мікроорганізми можуть тільки повільно при звичаїтися до високих концентрацій амонію / аміаку.

Потрібно звернути також увагу на те, що при термофільному бродінні субстратів, багатих на азот, це ближче приведе до утворення токсичного аміаку ( $\text{NH}_3$ ), що може гальмувати процес вже при низьких навантаженнях приміщення, а ніж при мезофільному бродінні.

Дезінфікуючі засоби та деякі антибіотики, наприклад, в рідкому гною можуть також призводити до зростання негативного впливу. У випадку порушення розвитку зазвичай повинно тимчасово призупинитися живлення.

Але не тільки інгібітори можуть негативно впливати на процес утворення біогазу. Мікроорганізми, котрі задіяні в процесі утворення біогазу, потребують окрім макро-речовин або речовин основного живлення з вуглеводів, білків і жирів також поживні мікро-речовини, а саме мінеральні речовини і вітаміни.

До макро-поживних речовин відносять: вуглець (C), азот (N), кальцій (Ca), магній (Mg), фосфор (P), натрій (Na), калій (K), хлор (Cl) і сірку (S). Наприклад, фосфат тут істотно існує для системи передачі NADP і АТФ. Макро-поживні речовини відповідальні перед усім за побудову клітинної субстанції.

Деякі мікро-поживні речовини є життєво необхідними для мікроорганізмів. Основними мікроелементами є: нікель (Ni), кобальт (Co), молібден (Mo), залізо (Fe) і селен (Se). Для ряду бактерій додатково мають значення, наприклад, цинк (Zn), купрум (Cu) і магній (Mn). Мікро-поживні

речовини є необхідними в ролі компонентів ферментів чи коферментів для проведення метаболічних процесів зміни речовин.

Залишки бродіння утворюються, зазвичай тоді, коли ланцюг процесу в сукупності ефективно функціонує, як мінералізація з органічного матеріалу, який відносно важко розщеплюється (наприклад, фракції лігніноцелюлози, котрі важко розщеплюються) і неорганічних залишків (в т. ч. добривні солі). Через більш високі частки азоту, фосфору і калію після бродіння залишки дуже добре придатні як с/г добрива. На основі їхніх вищих часток мінералізованих і разом з тим легко доступних рослинам поживних речовин в порівнянні до не анаеробно оброблених господарських добрив можуть значно краще замінити мінеральні добрива.

Біогаз-процес, в першу чергу, є керуючим процесом мікробіологічного розщеплення органічної субстанції з поновлювальних видів сировини: рідкого гною, твердого гною і біовідходів. Він служить для виробництва метану, котрий згоряє як первинний носій енергії в двигунах, щоб при цьому виробити електроенергію і тепло. Процес протікає в його першій фазі під аеробними, але після цього під анаеробними умовами. Анаеробне розщеплення, а саме розщеплення під впливом повітря або кислотних речовин, - називається бродінням.

## **2.2. Сировина для виробництва біогазу**

Передовою країною з виробництва біогазу є Німеччина. Так, наприклад приблизно 1400 біогазових установок (БГУ) в Баварії в основному використовуються поновлювальні види сировини (NawaRo) і господарські добрива. Частина установок, які використовують рідкий і твердий гній, збільшено за 2-ою поправкою закону «Про поновлювальні види енергії» (EEG, 2009). Приблизно 10 % БГУ використовують біовідходи як коферменти, 1 % установок експлуатуються тільки сировиною з погляду регулювання біовідходів (Рьолінг, 2008).

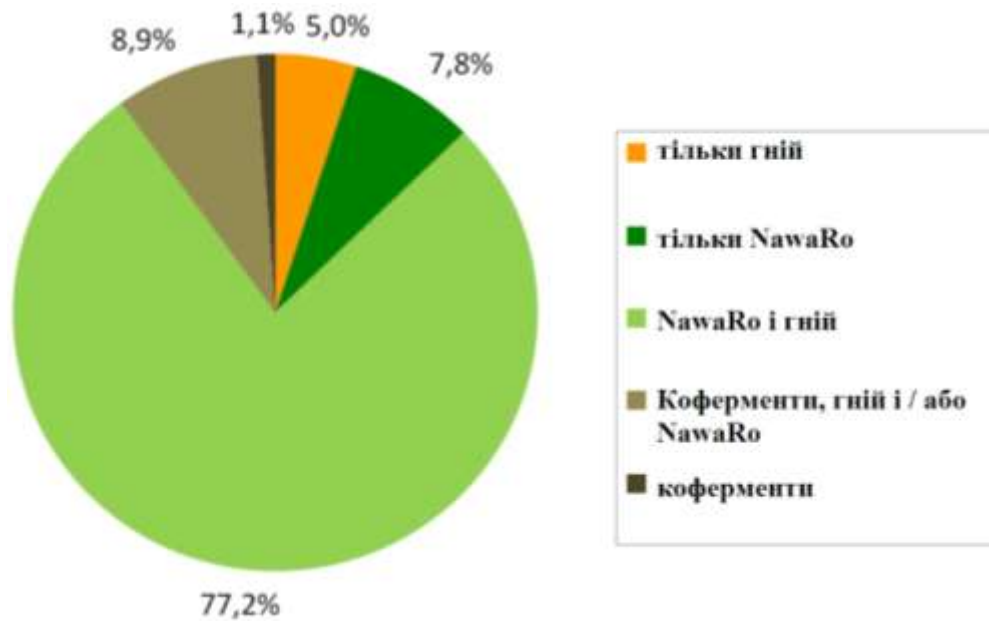


Рис.2.1. Використання субстратів у БГУ

У 2007 році в Баварії 102.000 га було зайнято під поновлювальними видами сировини для виробництва біогазу, що відповідає приблизно 3,2 % сукупних с/г корисних площ Баварії. Для цього використані орні землі складають 4,2 % сукупних орних площ Баварії.

Поновлювальні види енергії, які використовувалися у 2007 р. склалися з 60 % кукурудзи у формі кукурудзяного силосу. Окрім того використовуються зернові, трав'яний силос, силос цілих рослин, соняшник, трава суданка, просо і інші (рис. 2.2).

У ролі сільськогосподарських добрив у 2007 р. використовувався переважно рідкий гній ВРХ 76 % в порівнянні з всіма добривами, котрі використовувалися. У 2007 р. це відповідало 5,4 % сукупних господарських добрив від ВРХ в Баварії. Інші використовувані господарські добрива бралися від свиней і птиці.

З проведеного аналізу можна констатувати, що субстрати відрізняються (при використанні деяких речовин) їхніми частками жирів, білків і вуглеводів. Ці частинки окрім вмісту лігніноцелюлози та видового складу мікроорганізмів, котрі присутні в біогаз-процесі, є відповідно важливими для успішного бродіння в даному процесі.

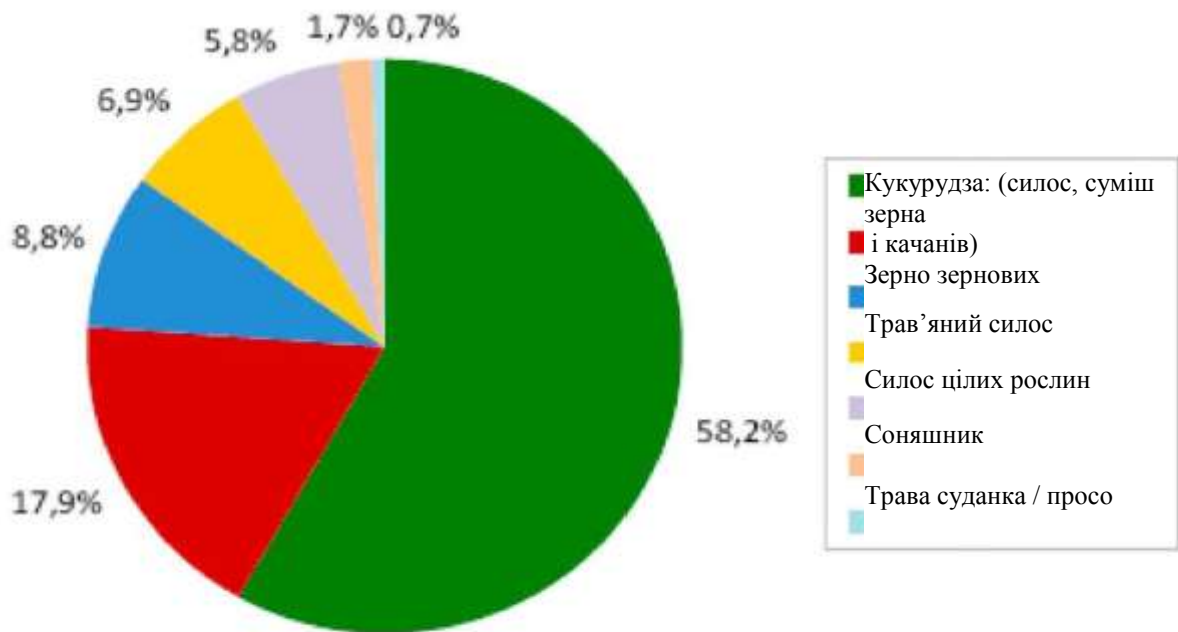


Рис. 2.2. Частота використання поновлювальних видів сировини

### 2.3. Процес виготовлення біогазу

Бродіння органічної субстанції до біогазу протікає послідовно анаеробно (без впуску повітря, кисню) в більшості етапах ферментації. При цьому різноманітні бактерії і археї, в залежності одна від одної, розкладають органічну субстанцію. Анаеробні умови уможливають їм утворити приблизно сьому частину енергії, аеробні (з кисневим диханням) також доступні. В анаеробній області бактерії і археї повинні використовувати менше енергії. В порівнянні до аеробного виробництва, цей виробничий процес є досить енергозатратним.

Проте, аеробне розщеплення органічної субстанції відбувається (дихання, наприклад провітрювані частини при компостуванні) головним чином за допомогою найпростіших грибів і бактерій. В основному аеробно менше організмів працює разом у ланцюзі розщеплення і вони не так суттєво залежать одні від одних, як анаеробні. Індивідуальний організм може виробляти набагато більше енергії і тоді розщеплення відбувається значно швидше. Але при цьому не утворюється жодних корисних енергоносіїв, такі як метан в біогаз.



Неконвертована енергія в біомасі втрачається, як тепло і  $\text{CO}_2$  (вуглекислий газ), а також водяна пара.

Перед точним дослідженням біогаз-процесу спочатку представлено простішу модель (рис. 2.3). Біогаз-процес поділений на чотири підрозділи реакції, гідроліз (розкладання органічних речовин на більш дрібні частинки при використанні води), ацидогенез (підкислення або утворення кислот), ацетогенез (утворення оцтової кислоти) і метаногенез (утворення метану). В БГУ, яка експлуатується в потоці, ці розділи протікають одночасно.

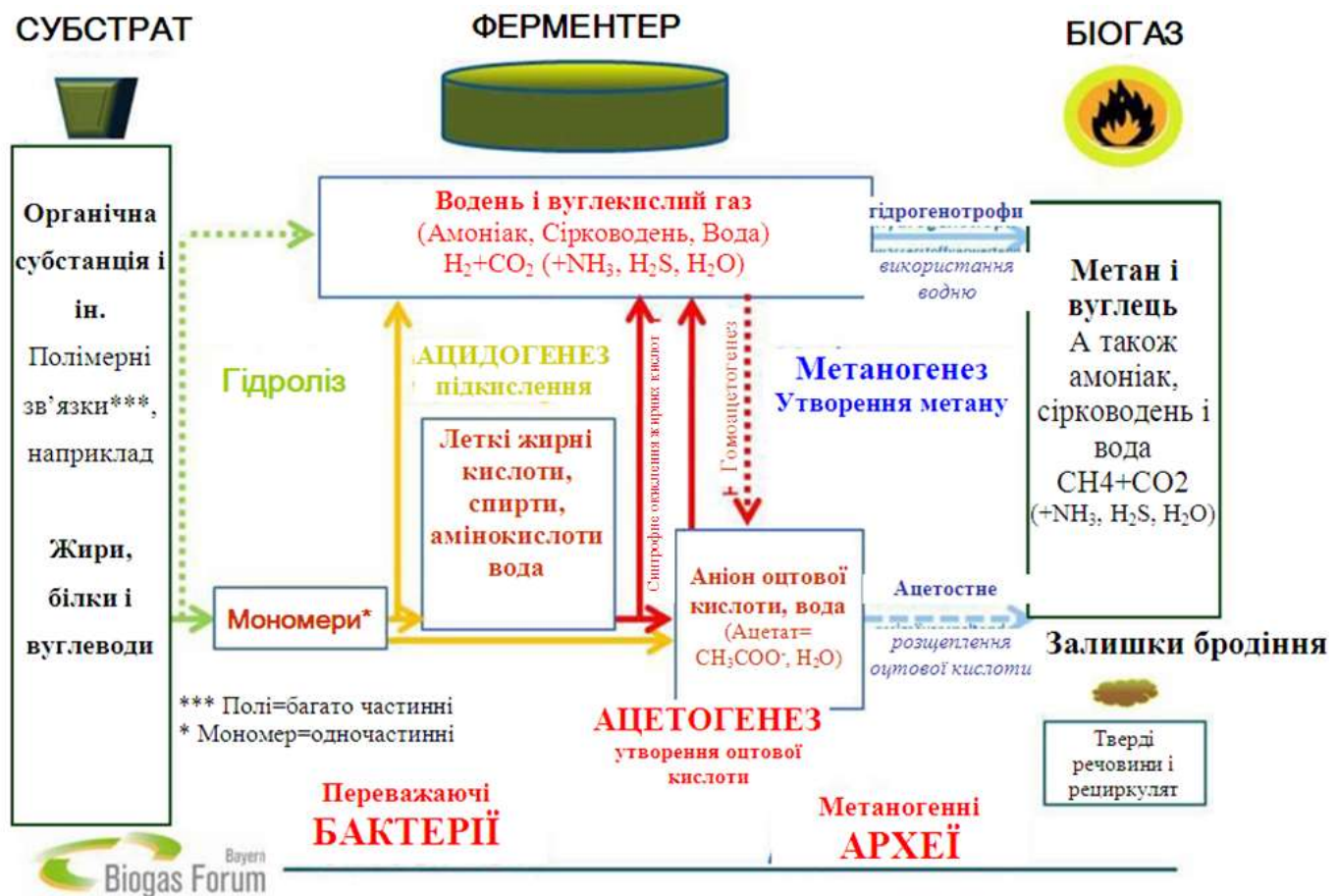


Рис. 2.3. Схема протікання біогаз-процесу

### 2.3.1. Гідроліз

На першому етапі, так званого, гідролізу (хімічного розщеплення молекул при взаємодії з водою) бактерії руйнують перед усім комплекси з вуглеводів (наприклад крохмаль), жирів і білків за допомогою ферментів. При цьому,

передусім утворюються коротші продукти розщеплення (олігомери, мономери), такі як: сахариди, амінокислоти і жирні кислоти.

Важливо зазначити, що чітке визначення хімічного гідролізу не поширюється на технічне поняття гідролізу як етап процесу в експлуатації установки. При біохімічній, гідролітичній реалізації перетворення практично не утворюється жодних кислот і газу. У "фазі гідролізу" біогазових установок утворюється газ гідролізу з водню ( $H_2$ ) і вуглекислого газу ( $CO_2$ ), велика частина органічних кислот і спиртів. Ця "фаза гідролізу" включає в себе більшу частину ацидогенезу.

### **2.3.2. Ацидогенез**

У фазі підкислення (ацидогенез) з продуктів гідролізу (перш за все з сахаридів, жирів і білків) утворюється водень, вуглекислий газ, спирти і жирні кислоти.

При використанні етерифікованих олій / жирів (наприклад, ріпакової олії) і субстратів багатих на білки (наприклад, конюшина) встановлено, що внаслідок цього з ацидогенезу отриманих сірчаних зв'язків утворюється сірководень ( $H_2S$ ) і з азотних зв'язків – аміак ( $NH_3$ ), котрі можуть бути токсичними для людей, навколишнього середовища і для самого процесу.

Показником нестабільності процесу, в якому наступні кроки ацетогенезу і метаногенезу не ефективно протікають, є посилене виникнення пропіонової кислоти (сполука C3), ізомасляної кислоти (сполука C4), ізовалеріанової кислоти (сполука C5), капронової кислоти (сполука C6) і енантової кислоти (сполука C7).

### **2.3.3. Ацетогенез**

При утворенні оцтової кислоти (ацетогенез), продукти ацидогенезу надалі перетворюються на більш дрібні молекули. Перш за все утворюється оцтова кислота (ацетат = аніон оцтової кислоти), водень і вуглекислий газ. Ацетогени чи синтрофні бактерії продовжують розкладати жирні кислоти, наприклад, через реакцію окислення або більш комплексні реакції.

Застосування жирних кислот є проблематичним, оскільки вони вимагають використання енергії. Тільки якщо кінцеві продукти можуть бути взяті з рівняння реакції через подальше застосування "наступника" (метаногенних архей), то протікання реакції може відбуватися у зворотному напрямку. Бактерії, які розщеплюють жирні кислоти, а також ацитогенні бактерії і метаногенні археї обов'язково є взаємозалежними. Ця чітка залежність, яка межує з симбіозом називається «синтрофія».

При більш високій температурі і низькому тиску «енергетична гора» є також нижчою, реакції більш ефективні у термофільному діапазоні температур.

#### **2.3.4. Метаногенез**

На останньому етапі утворення метану (метаногенез), передусім оцтові кислоти, водень і вуглекислий газ перетворюються за допомогою метаногенних архей на вуглекислий газ, метан і воду.

У сільськогосподарських біогазових установках це робиться всупереч попередньому науковому матеріалу при вищих навантаженнях приміщення, а також зниження тривалості перебування в ємності і вищих температурах в основному через гідрогенотрофний (використання водню) шлях реакції.

Ацетат безпосередньо менше розщеплюється на вуглекислий газ і метан (ацетокластний, шлях розколювання оцтової кислоти), а спочатку на водень і вуглекислий газ, котрі потім перетворюються за допомогою гідрогенотрофного метаногенезу в біогаз.

Утворення метану через розщеплення оцтової кислоти відбувається в суттєвій мірі тільки при порівняно низькому навантаженні приміщення і довшому перебуванні в ємності і при низькому вмісті оцтових кислот.

Оскільки метаногенез є процесом постачання енергії (екзотермічного), він може уможливити найбільш енерговиснажливі реакції, ацетогенез і синтрофне ацетат-окислення.

## **2.4. Спеціальне розщеплення окремих груп речовин**

Мікробіологічна популяція у БГУ може сильно коливатися у своєму складі. На неї впливають зокрема, відповідні речовини внесення (субстрати) і умови технологічного процесу, такі як температура чи тривалість перебування в ємності. На основі різноманітності (гетерогенності) і мінливості живої спільноти до розщеплення субстратів можна йти дуже багатьма способами (метаболичні шляхи). Зокрема, на часткових етапах гідролізу і ацидогенезу можливий широкий спектр метаболичних шляхів і проміжних продуктів.

Систематичні досліді щодо розщеплення спеціальних речовин і груп у біогаз-процесі до цих пір існують в основному з анаеробної очистки стічних вод, бродіння осаду стічних вод і біовідходів. Ще недостатньо вивчені в багатьох аспектах особливі умови у сільськогосподарських біогазових установках. Шляхи розщеплення окремих груп речовин, які показано нижче, розуміють спочатку як докази.

### **2.4.1. Розщеплення вуглеводів (наприклад: цукрові буряки, картопля, суміші качанів, зерна) – швидке постачання енергії**

Вуглеводи можуть існувати у біогенній сировині як простий цукор (моносахариди) або множинний сахарид. Множинні сахариди побудовані з двох (димерних) чи більше (олігомерних) до дуже багато (полімерних) одиниць моносахаридів, пов'язаних між собою. Часто компонентами моносахаридів у біогенних монособстратах виступають глюкоза, фруктоза і ксилоза. Сахароза, дисахарид (димер) з фруктози і глюкози, як розчинний цукор у рослинах, які містять цукри, такі як цукрові буряки, цукрова тростина або солодке сорго. Крохмаль є важливою речовиною накопичення у продуктах, таких як зернові, зерно кукурудзи чи картоплі. Крохмаль складається з ряду одиниць глюкози, котрі зв'язані з довгими полімерними ланцюгами. Вони лежать в лінійній (амілози) і розгалуженій формі (амілопектин). Іншими полісахаридами, наприклад є геміцелюлоза і целюлоза. Вони найбільш часто зустрічаються у складних цукрах рослин.

Целюлоза, як крохмаль складається чисто з глюкози. Тим не менше, целюлоза складається з дуже довгих, виключно лінійних ланцюжків до 10 000 одиниць глюкози. Крім того, одиниці глюкози в крохмалі зв'язані по різному. Через різні види зв'язків розрізняються величезні відмінності у властивостях обох речовин.

Геміцелюлози є відгалуженими складними цукрами з набагато коротшою довжиною ланцюгів, а ніж у целюлози. На відміну від крохмалю і целюлози, геміцелюлози побудовані з різних моносахаридів. Основним компонентом багатьох геміцелюлоз є ксилоза. Інші прості цукри в геміцелюлозі утворюють разом із лігніном основні компоненти лігніноцелюлози, котра є решітчастою субстанцією стін клітин рослини.

Прості цукри і багато коротколанцюгових множинних цукрів (олігосахаридів) можуть включати (набирати) організми бродіння безпосередньо в клітини і метаболізуватися. Полісахариди, такі як крохмаль, повинні розщеплюватися спочатку через гідроліз, це означає шляхом додавання води. Гідролізне розщеплення відбувається у місцях зв'язків компонентів глюкози, так що прості цукри – у випадку крохмалю, а отже глюкози утворюються – як кінцевий продукт гідролізного розщеплення. Гідроліз цукрів біохімічно каталізується за допомогою ферментів (гідролаз), які виробляються мікроорганізмами. Процес виробництва ферментів для задіяних мікроорганізмів пов'язаний з витратою енергії. Виробництво енергії відбувається, перш за все, у наступних етапах розщеплення ацидогенезу (окислення). Гідроліз і ацидогенез проводиться в значній мірі тими самими мікроорганізмами, які є технічно не розподілені між собою. Це відноситься не тільки до вуглеводів, а також для гідролізу інших груп речовин.

Компоненти цукрів з гідролізу можуть бути включені в їхні клітини мікроорганізмами і надалі внутрішньоклітинно метаболізуватися. Внутрішньоклітинне розщеплення в ацидогенезі може відбуватися залежно від умов навколишнього середовища і мікроорганізмів, що беруть участь в різних метаболічних шляхах. При цьому утворюється двоокис вуглецю ( $\text{CO}_2$ ), карбонові кислоти (жирні кислоти), спирти і можливо інші продукти (рис.2.4).



Рис. 2.4. Спрощене розщеплення вуглеводів

Для стабільного біогаз-процесу сприятливим є те, що переважно відбувається розщеплення оцтової кислоти, тому продукти реакції можуть перетворюватися з цього процесу бродіння безпосередньо на метан. На одну молекулу глюкози на додаток до оцтової кислоти і вуглекислого газу утворюється чотири молекули водню ( $H_2$ ). При окисненні глюкози, на водень переносяться випущені електрони і таким чином вони виводяться. Перенесення може відбуватися тільки тоді, коли вміст водню у речовині бродіння, який описується за допомогою парціального тиску водню є досить низьким.

На додаток до бродіння оцтової кислоти при ацетогенезі вуглеводів можуть окреслюватися різні інші метаболічні шляхи, наприклад, спиртове бродіння, бродіння масляної кислоти, пропіонової, молочної кислот, котре призводить до утворення різних кислот (наприклад, пропіонова, масляна, молочна, янтарна кислоти), спирти (наприклад, етанол, бутанол, ізо-пропанол)

та інші продукти. При підвищеному парціальному тиску водню і нижчому значенні рН утворення таких продуктів у цілому є сприятливим.

Через виробництво карбонових кислот, ацидогенез вуглеводів, як правило, схиляє (має тенденцію) до зниження значення рН у кислій області. У ферментері на практиці існує небезпека підкислення біогаз-процесу при внесенні вантажів вуглеводнів, які легко зброджуються.

Продукти оцтової кислоти, вуглекислий газ і водень з ацидогенезу можуть перетворюватися безпосередньо на біогаз ( $\text{CH}_4 + \text{CO}_2$ ) за допомогою гідрогенотфного або ацетокластичного метаногенезу. Решта карбонових кислот, спиртів та інших продуктів ацидогенезу повинні бути розщеплені у ацетогенезі до субстанції, котра здатна перетворюватися у метан, головним чином в оцтову кислоту і  $\text{CO}_2$ . При розщепленні карбонових кислот за допомогою синтрофних бактерій, наприклад, передусім формується  $\text{H}_2$ . Через це розщеплення проходить тільки при достатньо низькому парціальному тиску водню з виробництвом енергії для мікроорганізмів. Особливо критичним є розщеплення пропіонової кислоти, котра вимагає дуже низького парціального тиску водню. З підвищенням парціального тиску водню в бродильній речовині потрібно розраховувати на накопичення пропіонової кислоти і можливо інших карбонових кислот (наприклад, масляної або валеріанової кислот). Це може бути у випадку порушення метаногенезу і утворений водень не буде швидко, повністю, і достатньо метаболізований.

Вміст пропіонової кислоти, співвідношення між оцтовою кислотою і пропіоновою кислотою та вмістом інших карбонових кислот в бродильній речовині (пюрі) є важливими показниками для оцінки стабільності процесу бродіння. Це відноситься не тільки до розщеплення вуглеводів, але і в принципі для бродіння решти груп речовин описаних нижче. Аналіз вмісту оцтової кислоти, пропіонової кислоти, та інших карбонових кислот ("леткі жирні кислоти"), такі як масляна кислота, ізо-масляна кислота, валеріанова кислота, ізо-валеріанова кислота, капронова кислота або енантова (або гептанова) кислота в бродильній речовині може виконуватися у належним чином обладнаних лабораторіях.

### 2.4.2. Розщеплення білку (наприклад: конюшина, трав'яний силос, силос цілих рослин жита) – постачальники енергії

Білки є найважливішими компонентами рослинних і тваринних клітин, наприклад м'язи. Вони утворюють крім того основну речовину спеціальних тваринних тканин, таких як пір'я або волосся. Також ферменти відносять до протеїнів і уможливають в їх функції обмінні процеси в біологічних системах.

Білки є макромолекулами, що складаються з полімерно зв'язаних амінокислот. Всі амінокислоти мають кислотну групу та суміжні аміногрупи, але вони відрізняються за своєю конструкцією. У білках амінокислоти прив'язані до довгих полімерних ланцюгів. Вид і послідовність вбудованих амінокислот є змінними. В результаті чого утворюється безліч можливих амінокислотних послідовностей, а отже різних білків з дуже різними структурами і властивостями.

Анаеробне розщеплення білків (рис. 2.5) починається з гідролізу за допомогою різних ферментів (протеазів), у яких амінокислоти з коротколанцюговими фрагментами утворюються з двох або більше амінокислот (дипептиди, олігопептиди).

Ферментний гідроліз розділяє зв'язки між суміжними амінокислотами у білкових ланцюгах.

Вивільнення  $\text{NH}_3$  разом з виробництвом жирних кислот і  $\text{CO}_2$  спричинює рН-буферизацію і стабілізацію значення рН в нейтральній або злегка лужній області. На відміну від розщеплення вуглеводів, розщеплення білка, як правило, не схиляє (призводить) до підкислення речовини бродіння. Досить часто спостерігаються базисні значення рН до 8 або 9. Наприклад, для гідролізу та підкислення стічних вод, багатих на білок оптимальним значенням рН виявили 7 і вище.

При мікробіологічному розщепленні цих амінокислот, ця органічно пов'язана сірка у вигляді сульфідів ( $\text{HS}^-$  або  $\text{S}^{2-}$ ) розчиняється у рідині бродіння. Там гідролізуються  $\text{S}^{2-}$ , а також  $\text{HS}^-$  до  $\text{H}_2\text{S}$  (сірководню), який може виходити з рідини бродіння в біогаз.



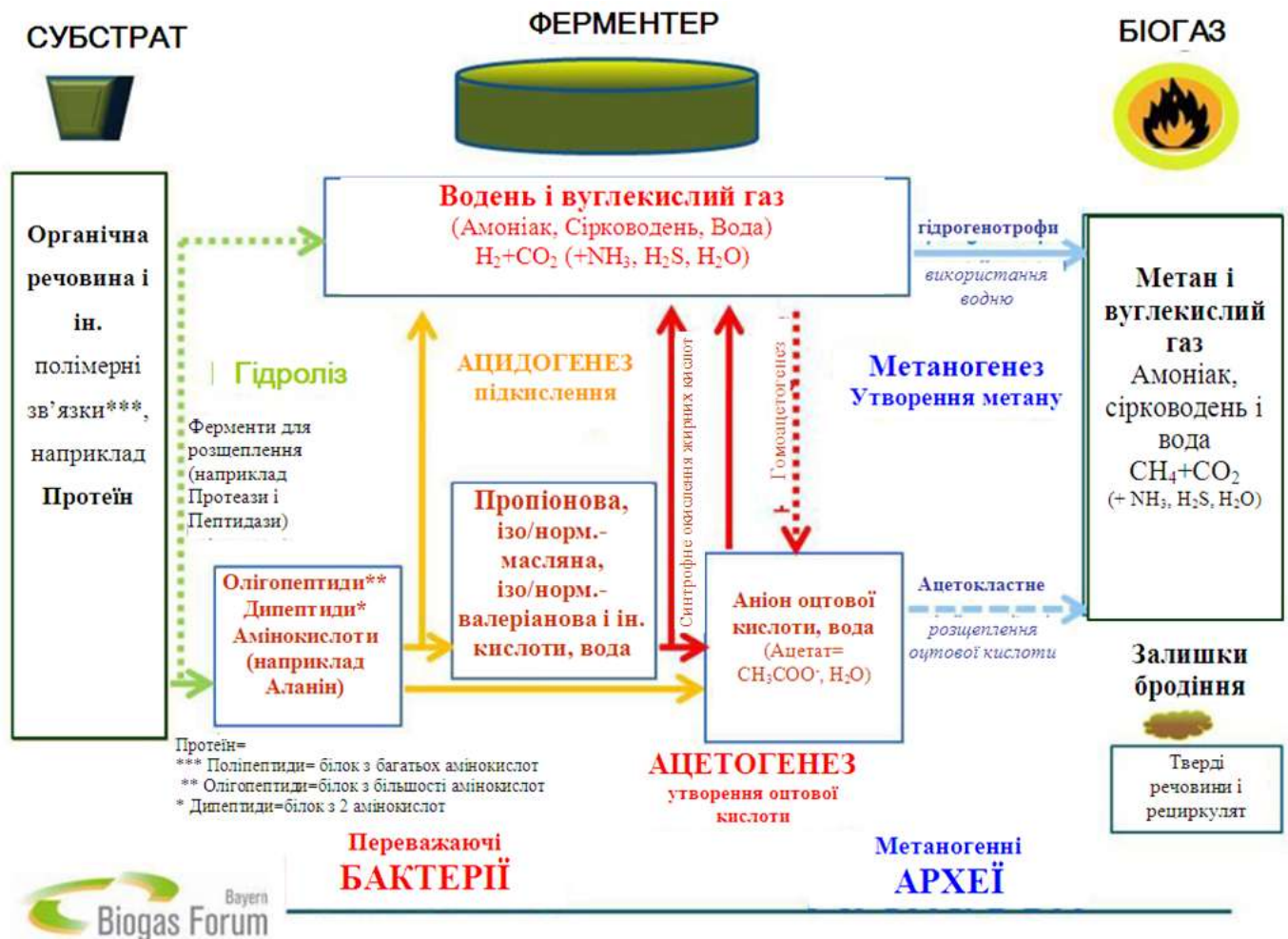


Рис. 2.5. Спрощене розщеплення білків

Через це в біогаз-процесі висока завантаженість багатими на протеїн субстратами призводить до високих концентрацій азоту у рідині бродіння, а також до високих навантажень  $\text{H}_2\text{S}$  (сірководню) і  $\text{NH}_3$  (аміаку) в біогазі, а також до вищого вмісту метану як суміші багатою на вуглеводи.

Для виробників важливим є те, що більш високий вміст  $\text{NH}_3$  у ферментері (приблизно 100-200 мг/л) може гальмувати процес бродіння. При бродінні субстратів з високою часткою трави, особливо трави конюшини такі концентрації аміаку особливо при швидкому навантаженні приміщення можуть легко досягатися і провокувати падіння виробництва біогазу, яке не завжди супроводжується низьким значенням рН, а також високим вмістом кислоти. Про це більш докладно можна ознайомитися в публікації Біогаз Форум Баварії "Біологічні порушення процесу в установках NAWARO ([http://www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/Prozessbiologische Störungen in NawaRo-Anlagen.pdf](http://www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/Prozessbiologische_Störungen_in_NawaRo-Anlagen.pdf)).

### 2.4.3. Розщеплення жирів (наприклад, соняшник) – збагачений метаном біогаз

Жири (ліпіди) зустрічаються в природі передусім у формі нейтральних жирів (тригліцеридів), фосфоліпідів і гліколіпідів. Тригліцериди є типовими речовинами накопичення, які містяться не тільки в рослинах, наприклад як рослинні олії, у насінні олійних рослин, але і в тваринних організмах і мікроорганізмах. Природні тригліцериди складаються з одиниці гліцерину, яка зв'язана з різними довго ланцюговими жирними кислотами, так званими, ефірними зв'язками. Довжина ланцюга походить від числа атомів вуглецю, які зв'язані одні з одними (C атоми). Як правило, вона знаходиться між 12 і 24 атомами вуглецю ( $C_{12}$  для  $C_{24}$ ). До важливих жирних кислот відносяться, наприклад олеїнова кислота ( $C_{18}$ ), котра знаходиться в багатьох рослинних оліях, і стеаринова кислота ( $C_{18}$ ) або пальмітинова ( $C_{16}$ ). Фосфоліпіди і гліколіпіди не є зберігаючими речовинами, а функціональними компонентами клітин, наприклад, в якості будівельних компонентів біологічних мембран. На відміну від тригліцеридів, вони містять азот, фосфор і фосфоліпіди.

Жири є гідрофобними, тобто вони є не розчинні або майже не розчинні у воді. Для швидкого гідролізу жирних кислот потрібна достатня кількість роз'їдаючих пунктів для задіяних у цьому ферментів. Це вимагає якнайбільшої контактної площі між фазою жиру і води, наприклад за допомогою емульгування жирів, що буде сприятливим через природні поверхнево активні субстанції (біотензиди), що містяться в бродильному шламі. Гідроліз тригліцеридів викликається ферментами типу ліпаз. Вони розділяють ефірні зв'язки між одиницями гліцерину і жирних кислот, так що гліцерин і жирні кислоти утворюються в ролі продуктів гідролізу. З фосфоліпідів і гліколіпідів можуть вивільнятися передусім фосфат, продукти гідролізу котрі містять азот або цукри.

Розщеплення жирів у біогаз-процесі схематично показано на рисунку 2.6.



Рис. 2.6. Спрощене розщеплення жирів

#### 2.4.4. Розщеплення лігніноцелюлози (наприклад ландшафтний матеріал)

Лігніноцелюлоза відображає субстанцію бродіння рослинних клітин і стабілізує їхню структуру. У середньому суха маса рослинних клітин складається з приблизно 80% целюлози. Через це лігніноцелюлоза знаходиться поблизу відповідних поновлюючих видів сировини для біогазових установок і в змінних кількостях. Типовим прикладом лігніноцелюлозних субстратів служать стеблові рослини та частини рослин, таких як трави чи солома.

Основними компонентами лігніноцелюлози є полісахариди целюлози і геміцелюлози як лігнін.

Целюлоза складається з дуже довгих нерозгалужених ланцюгів полімерно з'єднаної глюкози, геміцелюлоза – з коротших розгалужених ланцюжків, які складаються з різних моносахаридів.



## 2.5. Забезпечення мікроорганізмів мінеральними речовинами

Окрім групи поживних речовин вуглеводів, жирів і білків є й інші речовини, котрі необхідні для протікання життєвих процесів. До них належать вітаміни, ферменти і гормони а також мінеральні речовини (макро- і мікроелементи), що самі не можуть виробляти мікробний організм, а тому повинні бути додані з живленням (харчуванням).

Крім того, мікроби, що беруть участь в процесі анаеробного розкладання для їх метаболізму і відтворення потребують мінеральних речовин, так що метаболічна активність і темп росту залежить від наявності або доступності цих речовин.

Для ефективного процесу бродіння має важливе значення збалансоване співвідношення окремих груп речовин. Це означає, що через відсутність одного з поживних речовин, можуть гальмуватися метаболічні процеси і, як внаслідок не досягається повної потужності. З іншого боку надлишкове забезпечення мінеральними речовинами може привести до токсичної дії. Поставка мінеральних речовин відбувається через сировину, рідкий гній. Крім того, маса мертвих бактерій функціонує як постачальник поживних речовин і енергії.

### 2.5.1. Макроелементи

Органічна маса, в основному, складається з чотирьох елементів водню (H), вуглецю (C), азоту (N) і кисню (O). Ці речовини, які не пов'язані з мінералами (неметалами) є істотними і їх частка у біомасі складає до 99%.

До мікроелементів або до макропоживних речовин зараховують кальцій (Ca), магній (Mg), фосфор (P), натрій (Na), калій (K), хлор (Cl) і сірку (S). За визначенням ці поживні речовини знаходяться в різних середовищах, масовою часткою – більше ніж 50 мг на 1 кг. Більше того, елементи присутні у водному середовищі в основному з позитивно ( $\text{Ca}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ) або негативно ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{P}^-$ ,  $\text{S}^-$ ) зарядженими частинками. У такому вигляді їх ще називають електролітами.

Суша маса мікроорганізмів становить у середньому близько 50% вуглецю, 11% азоту, 2% фосфору і приблизно з 1% сірки. Для ефективного живлення мікроорганізми потребують поживних елементів. Слід зазначити, що для оптимальних умов процесу має вирішальне значення не тільки абсолютна кількість поживних речовин, але і правильне співвідношення елементів один до одного. Так у ферментері рекомендується оптимальне C/N/P- співвідношення від 100:5:1 до 200:5:1.

Для побудови клітинної субстанції є важливими деякі макроелементи. Азот виступає другим після вуглецю поживною речовиною за рівнем необхідності. Він потрібен для утворення ферментів, які проводять реакції в обміні речовин. Зависокий вміст азоту в субстраті може спричинити гальмування мікробної активності у ферментері.

Також сірка необхідна для утворення ферментів і є складовою частиною амінокислот метіонін, цистеїн і цистин. Забезпечення сіркою у біогаз-процесі в основному залежить від забезпечення протеїном.

Вміст фосфатів для формування енергоносіїв АТФ (аденозинтрифосфат) і NADP (нікотинамід - аденін - динуклеотид - фосфат) у метаболізмі мікроорганізмів є визначений, тому дефіцит призводить до паралічу обміну речовин.

Крім С, N, P, S також кальцій (Ca), залізо (Fe), магній (Mg) і натрій (Na) виконують важливі функції для обміну речовин. Так, наприклад Ca і Mg є важливими структурними елементами для ферментів, залізо й сірка виконують основну функцію при транспортуванні електронів.

### **2.5.2. Мікроелементи**

Під визначенням мікроелементи чи мікропоживні речовини розуміють хімічні елементи, середня концентрація яких не перевищує значення приблизно 50 мг. на 1 кг. біомаси, це означає, що вони існують в організмах тільки у „мікро“.

Для анаеробних мікроорганізмів (бактерії, а також археї), нікель (Ni), кобальт (Co), молібден (Mo), залізо (Fe) і селен (Se) є основними

мікроелементами. Для ряду бактерій важливими є також цинк (Zn), мідь (Cu) і магній (Mn). Ці мікропоживні речовини необхідні в ролі компонентів ферментів чи коферментів, які проводять метаболічні процеси.

Наприклад Ni як основний атом у кофакторі F<sub>430</sub> не замінний для функціонування метил-фермента M-редуктази, які виконують останній крок метаногенезу, утворення CH<sub>4</sub>.

Кобальт є істотно важливим як компонент корріноїден і кобаміден, також Ni і Fe-S є важливими для транспортування електронів.

Для утворення АТР, найважливішого енергоносія у метаболізмі, окрім Co і Ni дуже важливими є також Na і Se.

Молибден є важливим компонентом кофактора молибдоптерина у метан метаболізмі.

Відсутність або недостатня наявність основних мікроелементів в розчинній формі (важко доступний при низьких значеннях рН, зокрема через сульфідний зв'язок) може виключати важку недостатність, які відображені, серед інших, що гальмують виробництво біогазу, зниження рівня метану і збільшення жирОВОЇ концентрації кислоти. Докази Ви знайдете у публікації Біогаз форум Баварії „Біологічні пошкодження процесу у NawaRo-установках ([http://www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/Prozessbiologische Storungen in NawaRo-Anlagen.pdf](http://www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/Prozessbiologische_Storungen_in_NawaRo-Anlagen.pdf)).

## 2.6. Біогаз і залишки бродіння

Основними складовими біогазу є метан (CH<sub>4</sub>) і вуглекислий газ (CO<sub>2</sub>). Окрім того газ містить побічні і мікроскладові частини як вода, сірководень (H<sub>2</sub>S), аміак (NH<sub>3</sub>), водень (H<sub>2</sub>), оксид вуглецю (CO) і маленькі часточки.

Склад біогазу перед усім залежить від виду використовуваних речовин. Вуглеводи постачають біогаз з приблизно 50% вмісту метану, у той час коли жири й білки забезпечують більш високі частки метану і, отже багатіші енергією газу. H<sub>2</sub>S і NH<sub>3</sub> утворюються при бродінні поновлювальних видів сировини, рідкого гною і біогенних відходів, насамперед, з розпаду білків та

амінокислот, в невеликій мірі також деяких жирів і інших біогенних речовин (субстанцій).

Між тим, є доступними численні показники виходів біогазів і складів різних субстратів і сумішей субстратів, які були отримані в ході лабораторних випробувань або практики.

У кислому середовищі  $\text{CO}_2$  менш розчинний, а ніж в основному. Розчинність зменшується зі зростанням температури, таким чином, щоб викид  $\text{CO}_2$  у біогаз був більш сприятливим з підвищенням температури і нижчим значенням рН. Розчинність  $\text{H}_2\text{S}$  у воді, в кислоті дуже низька (теоретична розчинність: 5 мг / л при  $40^\circ \text{C}$  у чистій воді) і значно збільшується тільки при значеннях рН більше 7, так що в кислому і нейтральному рН перетин в газовій фазі є сприятливим.

Залишки бродіння зазвичай складаються з відносно важкого (жорсткого) до розкладання органічного матеріалу (наприклад, важких до розкладання фракцій лігніноцелюлози) і з неорганічних залишків (наприклад, солі), коли ланцюг процесу функціонує ефективно. Через відносно високу частку азоту, фосфору і калію, вони добре підходять в якості сільськогосподарських добрив. Тим не менш, слід відзначити, що можуть накопичуватися важкі метали.

Наступні примітки щодо порушень процесу і рекомендації знаходяться у публікації "Біологічні порушення процесу в NawaRo – установках, установках з використанням рідкого гною: симптоми, причини та можливі підходи до вирішення" AG III з Біогаз Форум Баварія. Подальше виконання до біогаз процесу та його мікроорганізмів знаходяться в публікації "Мікробіологічні процеси в сільськогосподарських біогазових установках ", LfL-Schriftenreihe 12/2009.



## **2.7. Техніко-економічне обґрунтування самоокупності ферми для утримання великої рогатої худоби за рахунок виробництва біогазу**

Новий напрямок досліджень, який направлений на ефективне виробництво біопалива відкриває ряд питань:

- в першу потребує великих спеціалізованих, індустріальних тваринницьких підприємств для використання екскрементів;
- по друге, обладнання ліній переробки гною на біогаз, а також виробництво електроенергії від екскрементів;
- по третє - систем для своєчасного видалення екскрементів з тваринницьких приміщень;
- по четверте - застосування бункерів для накопичення біогазу та генераторів для перетворення газу в електроенергію;
- по п'яте – використання опалювальної системи, що буде пристосована до використання біогазу.

Для самозабезпечення ферми енергоносіями в умовах утримання великої рогатої худоби при відповідній технології виробництва яловичини та молока у тваринницьких підприємств можна успішно використовувати біогазові установки.

За умов їх використання, є цілий ряд переваг:

- швидка самоокупність матеріальних затрат;
- самозабезпеченість електроенергією, теплом та високоякісним органічним добривом;
- обмеження чи зовсім виключення надходження у ґрунти гельмінтів, насіння бур'янів та шкідливих мікроорганізмів;
- можливість отримати високі прирости живої маси та надої, особливо у зимовий період року;
- комфортабельність утримання тварин та забезпечення ветеринарної санітарії.

Тому наукові та методичні обґрунтування замкнутості системи самоокупності підприємств, які займаються виробництвом продукції

тваринництва є актуальним та підвищують ефективність ведення галузі тваринництва і рослинництва.

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

$$Ч = Ч_n \times (1 + K / 100) \times t + Ч_m, \quad (2.1)$$

де  $Ч$  – чисельність населення, чол.;

$Ч_n$  – чисельність населення на момент складання техніко-економічного обґрунтування, чол.;

$K$  – коефіцієнт природного приросту населення, (14), %;

$t$  – період часу прийнятого за техніко-економічного обґрунтування (ТЕО) на перспективу, роки;

$Ч_m$  – 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 незбиране – 60, молоко збиране – 65, масло – 5, сир м'який – 10, сир твердий – 3,6, сметана – 5; м'ясної продукції 85 кг / рік, в тому числі: яловичини – 20, свинини – 20, баранини – 2, м'ясо птиці – 16, ковбасні вироби та м'ясо-копченості – 18, шпику – 3, субпродукти 1-ї категорії та інші вироби – 3 кг.

$$P_i = Ч \times H, \quad (2.2)$$

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

$H$  – норма споживання м'ясних або молочних продуктів, кг/рік.

Виходячи із нормативних показників забійного виходу та річної потреби (П) 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 за бій та кількість середньорічних дійних корів;

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

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

100 – відсоток перерахунку, %;

70 – відсоток виходу з яловичини від живої маси худоби, жива маса ( $Ж_{MI}$ ) – 400 кг, %.

$$Г = Ж_M / Ж_{MI}, \quad (2.4)$$

$$Г = П_{мол} / Р_H, \quad (2.5)$$

де  $Г$  – кількість голів корів, гол;

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

$П_{мол}$  – потреба у молоці, кг;

$Р_H$  – річний надій за породою, кг.

Розрахунок використання виходу екскрементів:

$$Ve = Г \times He, \quad (2.6)$$

де  $Ve$  – вихід екскрементів, кг;

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

Розрахунок виходу для виробництва біогазу:

$$Bб = Ve \times Hб, \quad (2.7)$$

де  $V_b$  – вихід біогазу, м<sup>3</sup>;

$H_b$  – вихід біогазу з одного 1 кг органічних добрив – 0,45 м<sup>3</sup>.

Розрахунок виходу для виробництва електроенергії:

$$V_{el} = V_b \times H_{el}, \quad (2.8)$$

де  $V_{el}$  – вихід енергоносіїв, кВт;

$H_{el}$  – вихід електроенергії при переробці одного 1 м<sup>3</sup> біогазу – 2 кВт.

Розрахунок виходу тепла:

$$V_t = V_b \times H_t, \quad (2.9)$$

де  $V_t$  – вихід тепла, МДж;

$H_t$  – нормативний показник виходу теплової енергії з 1 м<sup>3</sup> 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).

Згідно цього поголів'я, проводимо розрахунок виходу екскрементів, при врахуванні добового виходу сечі та калу.

Норма виходу гною за добу, кг: від бугаїв - плідників - 40, корів - 55, нетелів - 28; молодняку - 24; телят до 6 місяців - 7,5, телят до 2 місяців - 4,5.

Норма підстилки, кг / добу: для бугаїв - плідників - , корів - 1,5; нетелів - 0,5; молодняку та телятам до 6 місяців - 5; телятам до 2 місячного віку - 3.

Згідно з даними відомчих норм технологічного проектування (ВНТП – АПК - 09.06) більш ефективно побудувати власну біогазову установку, що дозволить з 1 кг органіки великої рогатої худоби отримати - 0,31 - 0,62 м<sup>3</sup> біогазу із вмістом метану – 50 - 65%.

При переробці 1 м<sup>3</sup> біогазу в генераторі можна отримати 2 кВт електроенергії або 21 МДж тепла.

Загальний добовий вихід енергоносіїв від великої рогатої худоби (табл. 2.2).

## Розрахунок кількості місць для корів на фермі

Групи тварин	Коефіцієнт при визначенні структури корів, %			Кількість місць для корів
	50	60	90	
Корови:	1,0	1,0	1,0	200
дійні	0,75	0,75	0,75	150
сухостійні	0,13	0,13	0,13	26
глибоко тільні	0,12	0,12	0,12	24
Нетелі(2-3 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		120
Молодняк	0,45			90
Всього	2,29	1,84	1,24	458

Таблиця 2.2

## Добовий вихід енергоносіїв з тваринницької ферми

Групи тварин	Вихід гною, кг	Вихід біогазу м <sup>3</sup>	Вихід електроенергії, кВт/м <sup>3</sup> біогазу	Вихід тепла, МДжж/м <sup>3</sup>
Плідники	84	38	75	785
Корови	11350	5090	10200	107000
Нетелі	685	308	616	6470
Молодняк до року	2620	1175	2350	24680
Телята до 6-и місяців	1550	680	1380	14180
Телята до 3-х місяців	182	82	164	1705
Всього	16380	7370	14730	154730

Таким чином, згідно даних таблиці 2.2 видно, що від 458 голів великої рогатої худоби можна отримати за добу 16,3 т гною.

В процесі переробки отримують  $7367\text{ м}^3$  біогазу, з якого виробляють 14730 кВт електроенергії та 154730 МДж теплової енергії.

Враховуючи те, що корови на фермах утримують у чотирьох будівлях  $12 \times 72$  м при внутрішній площі для одного приміщення  $768\text{ м}^2$ , а всього  $3072\text{ м}^2$  для освітлення необхідно 96 ламп або 24 на будівлю (100 Вт). Технологічні процеси для виконання різних операцій потребують 6 годин на добу. Затрати електроенергії 576 кВт на добу або 2073,6 МДж.

За один цикл біогазова установка виробляє – 154730 МДж теплової енергії.

Біогазові установки на виробництво енергії витрачають 15%.

Звідси  $154570 \times 15 : 100 = 23186$  МДж.

Залишкова енергія (Зен.) для технологічних операцій становить, а саме:

$$\text{Зен.} = 154573,7 - 23186 = 131387,7 \text{ МДж.} \quad (2.10)$$

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

Розраховуємо необхідний об'єм біореактора для ферми із 200 корів при утриманні із використанням підстилки:

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

де  $V$  - робочий об'єм реактора,  $\text{м}^3$ ;

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

$D$  - доза завантаження за об'ємом, %.

Розрахунок разової порції завантаження гною:

$$D_{op} = Q \times D \times (100 - W) \times (100 - S) : 1000, \quad (2.12)$$

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

$D, D_{op}$  - дози завантаження за об'ємом (%) і за беззольною речовиною (кг/м<sup>3</sup>);

$W, S$  – відповідно вологість і зольність біомаси, %.

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

Розраховуємо ефект енергетичного балансу біогазової установки після відрахувань енерговитрат на технологічні потреби:

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

де  $Q_d$  - добова кількість вихідної сировини, м<sup>3</sup> / добу;

$Q$  – кількість біомаси в робочому об'ємі, т;

$D$  - доза завантаження (80%), %;

% - вологість і зольність біомаси, %.

## 2.8. Висновки до другого розділу

За матеріалами другого розділу можна зробити наступні висновки.

Здійснено аналіз сучасних технологій для виробництва біогазу, а також проведено розрахунок їх економічної ефективності.

Приведена загальна модель процесу утворення біогазу, визначено сировину виробництва біогазу.

Визначено етапи процесу виготовлення біогазу, до яких відносяться гідроліз, ацидогенез, ацетогенез та метаногенез.

Наведено етапи спеціального розчеплення окремих груп речовин до яких відносяться:

- розщеплення вуглеводів (наприклад: цукрові буряки, картопля, суміші качанів, зерна), яке забезпечує швидке постачання енергії;
- розщеплення білку (наприклад: конюшина, трав'яний силос, силос цілих рослин жита), як постачальники енергії;
- розщеплення жирів (наприклад, соняшник), які збагачують метаном біогаз
- розщеплення лігніноцелюлози (наприклад ландшафтний матеріал).

Встановлено, які мікроелементи та мікроелементи забезпечують мікроорганізми мінеральними речовинами.

Проведено техніко-економічне обґрунтування самоокупності ферми для утримання великої рогатої худоби за рахунок виробництва біогазу.

Доведено, що при утриманні великої рогатої худоби на фермі з поголів'ям 458 голів можливо повністю виробничий процес забезпечити енергоносіями власного виробництва, яку отримуємо із гною.

Встановлено, що за умов виробництва тваринницької продукції об'єм біореактора складає 626 м<sup>3</sup> при разовому завантаженні 85 кг/м<sup>3</sup> з енергетичним балансом біогазової установки 58149 МДж/добу.

Обґрунтовано, що за цикл біогазова установка виробляє - 154573,7МДж теплової енергії, потребує 23186 МДж та залишкова енергія для використання на технологічні операції складає - 131388 МДж.

Представлена методика техніко-економічних розрахунків самоокупності ферми переконливо демонструє доцільність проведення наукових досліджень по використанню екскрементів для виробництва біогазу та органічних добрив, де доцільно удосконалювати, як біогазові установки та отримання екскрементів з підвищеним вмістом субстанції для розвитку мікроорганізмів.

Таким чином, виробництво біогазу є перспективною галуззю при виробництві біопалива поряд з виробництвом біодизелю та біоетанолу.

При цьому його виробництво може бути найдешевшим через низьку собівартість сировини та наявність можливостей будівництва біогазових установок у кожному регіоні, якщо виникне така необхідність.

Серед всіх поновлюваних джерел енергій біогаз має особливий статус, так як він знаходить різноманітне застосування у всіх сферах



електроенергетики, виробництва тепла та використовується у якості пального, а також може постійно вироблятися відповідно до потреб на основі наявної місцевої сировини.

Виробництво біогазу дає можливість зменшити енергозалежність нашої держави, також створити нові робочі місця та вирішити проблеми утилізації відходів, зокрема тваринництва, покращуючи тим самим екологічну ситуацію в Україні.

## РОЗДІЛ 3

### НАПРЯМКИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ

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

Біогаз – це газ, котрий виробляється з органічних відходів їжі та тваринництва за допомогою бактерій та має склад, який подібний до природного газу: близько 98% метану, а також вуглекислий газ, сірководень, воду та ін. Він має низку переваг у порівнянні з природним газом:

- біогаз виробляється з біологічної сировини, тому його виробництво та спалювання відноситься до частини природного циклу вуглецю і не призводить до накопичення природного газу в атмосфері та відповідно парникового ефекту;
- добувається природний газ з глибин землі, а тому він не є частиною атмосфери, таким чином при його спалюванні накопичується вуглекислий газ;
- біогаз є відновлюваним джерелом енергії, тобто він не вичерпується ніколи, оскільки як свідчать різні дослідження природного газу та нафти за теперішніх темпах їх використання та прогнозами вистачить не більш, як на 50 років;
- біогаз можна виробляти близько до споживачів, а сировина для його виробництва також знаходиться біля підприємств з його виробництва, а тому нема необхідності транспортувати біогаз на значні відстані.

Враховуючи енергетичну залежність України від Росії, а також переваги біогазу в порівнянні з природним газом, дослідження з перспектив його використання є досить актуальним.

Над вирішенням проблем виробництва та споживання біогазу присвячені праці відомих зарубіжних і вітчизняних учених, серед яких D. Deublein, N. Board, A. Steinhauser, D. House, Г. Калетнік, В. Дубровін, М. Корчемний, Г. Гелетуха, Ю. Кернасюк, М. Кобець та інші.

Переважна більшість авторів акцентують увагу або на технічних аспектах процесу виробництва біогазу, або на зарубіжному досвіді, а тому необхідним є обґрунтування економічних чинників виробництва біогазу в Україні.

У 2011 році Україна закупила в цілому близько 45 млрд.м<sup>3</sup> природного газу, з якого близько 40 млрд.м<sup>3</sup> були постачання з Росії підприємством «Газпром» для українського державного підприємства «Нафтогаз України». Решту газу (близько 5 млрд. м<sup>3</sup>) постачала компанія «Ostchem Holding», що видобуває газ як для власних потреб, так із метою забезпечення власного виробництва в хімічній галузі.

Сумарний обсяг річного споживання природного газу в Україні в 2012 році складав близько 44,2 млрд. м<sup>3</sup>. Даний енергоносіє можна було б на 60 % замінити виробленим біогазом в Україні (біометаном).

Екологічний ефект від біогазового виробництва полягає в екологічній безпеці переробки органічних відходів та розвитком комплексних технологій для утилізації біомаси з метанового збродження.

У біогазових установках використовуються, в першу чергу, екскременти сільськогосподарських тварин та відтворювана сировина, до якої насамперед, відносяться різноманітні відходи органіки агропромислового виробництва, які є багатими на целюлозу, а також інші полісахариди.

Проте і біогенні відходи харчової промисловості та побутові відходи мають все більше значення.

У виробництві біогазу використовується первинна сировина, котра раніше не застосовувалася і лише додатково спричиняла забруднення навколишнього середовища.

Дані органічні речовини застосовуються або окремо, або у поєднанні (субстрати) із іншими органічними речовинами.

Таким чином, можна розробляти та впроваджувати програми для конкретного місця розташування підприємств, що дозволить більш раціонально виробляти та використовувати біогаз.

Окрім того, значна кількість фермерських господарств, а також науково-дослідних установ вирощують та досліджують нові сорти рослин, які можуть використовуватись для виробництва біогазу.

Завдяки можливості використання різноманітних субстратів у одній бродильній установці виготовлення біогазу є досить гнучким.

При цьому, широкий спектр застосування первинної сировини забезпечує біорозмаїття в сільськогосподарському виробництві.

Перетворення органічних залишок в біогаз здійснюється внаслідок комплексу складних біохімічних перетворень. Даний процес отримав назву ферментації біомаси і він відбувається тільки завдяки бактеріям та відбувається в спеціальному технологічному обладнанні – ферментаторах.

Створення та підтримка оптимальних умов з метою росту та існування для даної культури бактерій у ферментаторі є визначальною для собівартості отримання біогазу.

Головне функціональне призначення ферментаційних установок є отримання біогазу, котрий є додатковим джерелом для місцевого енергопостачання. Здійснюючи оцінку економічної ефективності при переробці біомаси, не враховують того, що біогазові установки також є обладнанням для перероблення гною, а також інших органічних відходів.

Таким чином економічні витрати при їх створенні та експлуатацію необхідно розглядати комплексно. В процесі підрахунку собівартості виробництва біогазу необхідно враховувати вартість проведених заходів для утилізації відходів, а також захисту навколишнього середовища. В цьому випадку виробництво та експлуатація біогазових установок завше матиме позитивний економічний ефект.

Розрахунки засвідчують, що не зважаючи на суттєві капітальні вкладення, строк окупності промислових біогазових установок становить приблизно три роки.

Загальні обсяги можливого виробництва біогазу із агропромислової сировини в Україні фахівці Національного університету біоресурсів і

природокористування оцінюють приблизно на рівні 1,6 млн. тонн так званого умовного палива.

З врахуванням технологічних можливостей використання зеленої маси, як основної сировини для отримання біогазу, потенційні можливості синтезування біогазу для його використання як палива, можна вважати значно більшими.

Значною перевагою при виробництві біогазу є застосування поновлюваних джерел енергії. Досить широкий та постійно доступний спектр органічних речовин дає можливість постійного та безперервного виробництва біогазу, а також сприяє економії при використанні викопних енергоносіїв.

Біогаз також може застосовуватися в різних аспектах і відкриває, таким чином, значні можливості його використання: він може використовуватись на території його виробництва в якості палива, а також з біогазу можна виробляти електричну енергію.

При цьому, можна застосовувати відхідне тепло, котре в процесі виробництва утворюється.

Таким чином виробництво біогазу пропонує досить цікаві можливості при децентралізованому енергозабезпеченні та є досить цікавою альтернативою, переважно для крупних аграрних підприємств в Україні.

Біогаз, який доведений до якості природного газу (біометану) також може подаватися у загальні газорозподільні мережі, які є ефективним шляхом транспортування біогазу безпосередньо до споживачів, а також енергонакопичувачів.

На противагу дорогим і неефективним можливостям накопичення змінних резервів сонячної і вітрової енергії, газорозподільні мережі дозволяють практично без втрат поєднати виробництво та споживання енергії.

Окрім того, при виробництві біогазу створюються додаткові робочі місця, а також він є джерелом доходу, що важливо для сільської місцевості.

На противагу вітровій та сонячній енергетиці, практично одна біогазова установка може досить легко досягнути показника 70-80% при використанні

так званої «місцевої складової», що є досить важливою перевагою для економіки країни.

При цьому, для України не є актуальною дискусія, яка ведеться у багатьох європейських країнах відносно боротьби за сільськогосподарські землі для вирощування енергетичних культур на заміну вирощуванню рослин для виробництва харчових продуктів, тобто «їздити або їсти».

За умови інтенсивного господарювання наявних земельних угідь в Україні вистачить як для вирощування культур для харчових потреб, так і для енергетичного сектору. Про те, національна біогазова стратегія розвитку повинна з самого початку робити ставки на найбільш ефективне використання потенціалу наявних біогенних відходів при виробництві біогазу.

Не зважаючи на значний сільськогосподарський потенціал при виробництві біогазу в Україні, на даний час практично не існує потужного обладнання для виготовлення біогазу. Причиною цього, в першу чергу, є недостатня ефективна законодавча база, яка перешкоджає інтенсивному розвитку промислового виробництва, а також виробництву біогазу.

Тому від законодавців вимагається створення ефективних рамкових умов.

Біогазові установки могли б вже сьогодні за певних умов досить ефективно працювати. Так за рахунок використання відходів переробки сільськогосподарського виробництва у біогазових установках одночасно можна вирішувати проблеми навколишнього середовища.

Безпосередньо, в такий спосіб можна досить корисно утилізувати такі відходи тварин, як гній, які накопичується на тваринницьких фермах; також відходи (залишки бродіння), які залишаються при виробництві біогазу в є високоякісним добривом. Такі відходи можна продавати чи використовувати замість дорогих штучних добрива.

Установки для виробництва біогазу можна реалізовувати при проектах спільних розробок та впровадження (згідно Кіотського протоколу), за рахунок продажів квот на викиди CO<sub>2</sub> також отримувати додаткові доходи.

Якщо б місцеве виробництво біогазу ефективно функціонувало то вже сьогодні це відкрило б шлях Україні до Європи. Дану можливість пропонує

Директива стосовно поновлюваних джерел енергії (RED) 2009/28/ЄС, котра зобов'язує країн-учасників ЄС до 2020 року покрити близько 10% кінцевого споживання енергії у транспортній галузі з поновлюваних альтернативних джерел енергії.

Згідно до головне, щоб біопаливо відповідало встановленим критеріям його виробництва з поновлюваних джерел енергії.

Так, не усі країни ЄС можуть власними силами забезпечити в своїй транспортній галузі використувувати частку виробленого біопалива біля 10% до 2020 року.

В цьому випадку Україна могла б бути досить цікавим партнером. У результаті цього західноєвропейські споживачі фінансували би розбудову інфраструктури в Україні, котра в подальшому могла б бути потужним фундаментом на шляху до енергетичної незалежності від Росії.

У 2010 році планувалось розробити та оприлюднити комплекс вимог до якості виробництва біогазу, а також методик у визначення його якості для впровадження обов'язкових норм і стандартів, однак на даний час це так і не здійснилося.

У порівнянні з іншими альтернативними джерелами енергії біогаз є досить гнучким при використанні та знаходить застосування у наступних важливих напрямках, а саме виробництво електроенергії, палива та тепла.

Так, біогаз може використовуватися в децентралізованих блочних теплоелектроцентралях (ТЕЦ) для забезпечення електро- та теплопостачання, а також подаватися як очищений та збагачений біогаз в діючу газотранспортну мережу. Окрім цього, збагачений біогаз також може застосовуватися як пальне в автомобілях, які працюють на природному газі, на крупних центральних когенераційних установках (КУ), а також для виробництва тепла у газових конденсаційних котлах.

Енергопотенціал біогазу складається з різних потенціалів, до якого належить:

- потенціал площ, на яких вирощують енергетичні культури;

- потенціали традиційних органічних добрив, до яких відносяться рідкий і твердий гній, а також курячий послід тощо;
- потенціали обробної промисловості;
- потенціал використання відходів з комунальних господарств;
- потенціали з підвищення ефективності при вирощуванні енергетичних культур на один гектар площі;
- різноманітні потенціали можливого використання біогазу, наприклад, чисте виробництво електроенергії, також виробництво електроенергії та тепла на ТЕЦ або використання його в якості пального для транспортних цілей.

Окрім того, вирішальну роль при розвитку біоенергетики та його ефективному використанні наявних потенціалів відіграють як політичні, так і правові рамкові умови, а також наявна інфраструктура.

Найбільш важливими практичними кроками є створення діючого українського ринку біогазу (біометану) є:

- формулювання чітких напрямків розвитку з виробництва біогазу у національній енергетичній стратегії держави, а також оптимізація енергетичного балансу держави;
- створення відповідних законодавчих рамок умов для регулювання подачі біометану та можливості транскордонної торгівлі.
- створення відповідних установ для нагляду, документування та сертифікації для транспортування біометану та торгівлі ним, а також визнання даної сертифікації в транскордонній торгівлі.

Забезпечення покращення інвестиційного клімату завдяки створенню відповідних рамок умов для потенційних інвесторів для форсування розвитку ринку поновлюваних джерел енергії, тобто:

- створення стимулів для іноземних інвесторів шляхом спрощення процесу та прозорості, наприклад, при видачі ліцензій інвесторам;
- надання податкових знижок чи пільг щодо імпорту енергозберігаючого обладнання в Україну, обмежуючись вітчизняними компаніями, які імпортують в Україну енергозберігаючі матеріали, а також установки та запчастини.



Дані компанії звільнюються як від сплати ввізного мита і від податків на додану вартість. В першу чергу вигоду отримують спільні підприємства. При будівництві біогазових установок 50% матеріалів повинні бути вітчизняного виробництва. Також публікація аналізу потенціалу та місць, які придатні для виробництва де є газотранспортна інфраструктура, географічні умови, а також технічний потенціал біомаси при виробництві біогазу/біометану.

### 3.2. Застосування сучасних біоенергетичних технологій

За часів оволодіння вмінням розпалювати вогонь люди вже на протязі тисячоліть використовують енергію біомаси для отримання тепла, приготування їжі, а також для технологічних потреб та ін.

Окремі випадки з використання примітивних біогазових технологій були зафіксовані ще в Китаї, Ассирії, Індії та Персії починаючи із XVII століття до нашої ери. Однак системні наукові дослідження з виробництва біогазу почалися лише у XVIII столітті нашої ери, тобто майже через 3,5 тисячі років.

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

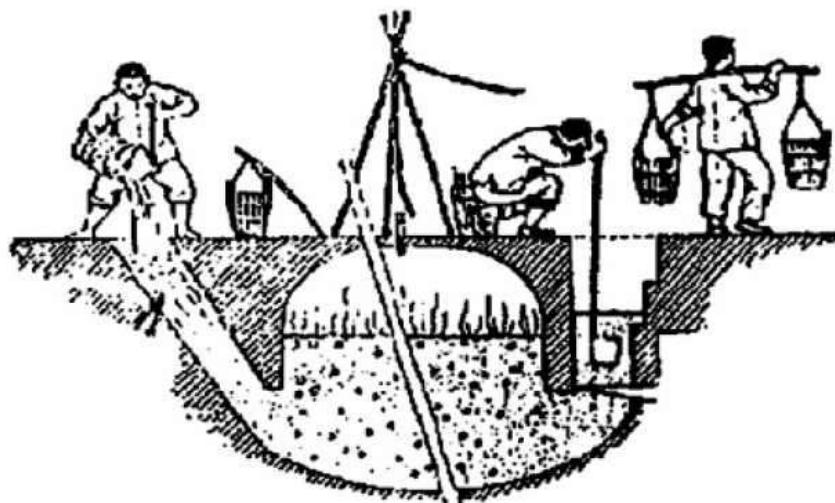


Рис.3.1. Примітивна газова установка в давньому Китаї

Технологія виробництва біогазу є досить простою: гній, сміття, солому, листя завантажували у бетонні ємності чи колодязі з будь-яким об'ємом. Газ,

що утворюється в процесі бродіння, відводиться у приймальні пристрої чи безпосередньо у газову плиту. Саме такі установки використовуються у багатьох країнах.

Самі перші біогазові установки (БГУ) використовували ще до утворення наукових основ метаногенезу. Так, в Індії (Бомбей) вони вже використовувались у 1900 р. В 1918 р. подібні установки появились у Німеччині, у 1928 р. - в Англії, а в 1930 р. - у США.

На теренах колишнього союзу перші біореактори були створені у Латвії в 1949 р.

В Україні перший біореактор запрацював у Запоріжжі в 1959 р.

Досить широко розвинулося виробництво біогазу, в першу чергу для сімейних потреб у Китаї - у 1978 р. На той час там вже функціонувало понад 7 млн БГУ. Окрім сімейних, у Китаї є ще близько 600 великих і середніх БГУ, які використовують відходи тваринництва та птахівництва, а також відходів з виноробних і спиртових виробництв.

Досить широке отримання енергії за допомогою БГУ набуло у Великій Британії, Данії (рис.3.2), Австрії, Італії, Нідерландах та Швеції. Близько 44 % сучасних БГУ знаходиться в Європі, а 14 % - в Північній Америці.



Рис.3.2. Сучасний комплекс з виробництва біогазу у Данії

Біомасу, як джерело енергії, можна застосовувати в процесі спалювання деревини, соломи, сапропелю, як органічних донних відкладів, а також у

переробленому вигляді, як рідке (ефіри ріпакової олії, спирти) чи газоподібне (біогаз) паливо.

Конверсія біомаси в енергоносії може здійснюватись фізичними, хімічними, а також біологічними методами. причому останні є найбільш перспективними.

Можна констатувати, що біоенергетика має глобальну перспективу і домінуюче значення для успішного розвитку цивілізації.

Подолання сучасних та запобігання можливим майбутнім екологічним кризам не реально без застосування нових екобіотехнологій для очищення стокових вод, біосорбції важких металів із стоків, знешкодження газових викидів, збагачення повітря киснем, застосування перспективних способів знешкодження твердих та рідких відходів від промислових виробництв, біодеградації від внесення пестицидів та інсектицидів, підвищення ефективності способів біологічного відновлення родючості ґрунтів, заміни агрохімікатів на біотехнологічні препарати та ін.

Важливим напрямком також повинна стати розробка екобіотехнологій, які спрямованні на виробництво біогазу з органічних відходів, а також застосування біоіндикації та біотестування в системі проведення екологічного моніторингу.

Екобіотехнологія - це напрямок, що утворився в результаті нових підходів та методів з прикладних напрямів екологічної науки, нових та класичних біотехнологій. Таким чином це технологічні процеси, котрі здійснюються аз використання живих організмів чи їх елементів, які спрямовані на покращення, захисту та відновлення навколишнього середовища.

Переваги від застосування екобіотехнологій у порівнянні з традиційними фізико-хімічними і хімічними природоохоронними технологіями є очевидні. Біоенергетика – це невід’ємний складник екобіотехнології. Застосування біоенергетичних підходів при розв'язанні енергетичних і екологічних проблем людства є можливим та доцільним.

Найбільш ефективними технологіями при використанні біомаси у біоенергетиці є пряме спалювання; газифікація; піроліз; анаеробна ферментація

при утворенні метану; виробництво спиртів і масел для одержання моторного палива.

Технології з використання біомаси вдосконалюються, забезпечуючи тим самим отримання енергії у придатній для споживачів формі та з максимально їх ефективністю.

Енергія отримується з органічних відходів фізичними, хімічними або мікробіологічними методами.

Фізичним методом отримують енергію шляхом спалювання органічних відходів. В основі хімічного методу є використання процесів піролізу та газифікації.

Найбільш розповсюдженим у світовій практиці є мікробіологічний метод при безвідходному виробництві, а саме отримання біогазу шляхом анаеробного зброджування. Досить цінним продуктом при виробництві біогазу є отримання високоякісного органічного добрива.

Класифікація технологій з почерговим перетворенням біомаси у енергетичні продукти зображена на рис.3.3.

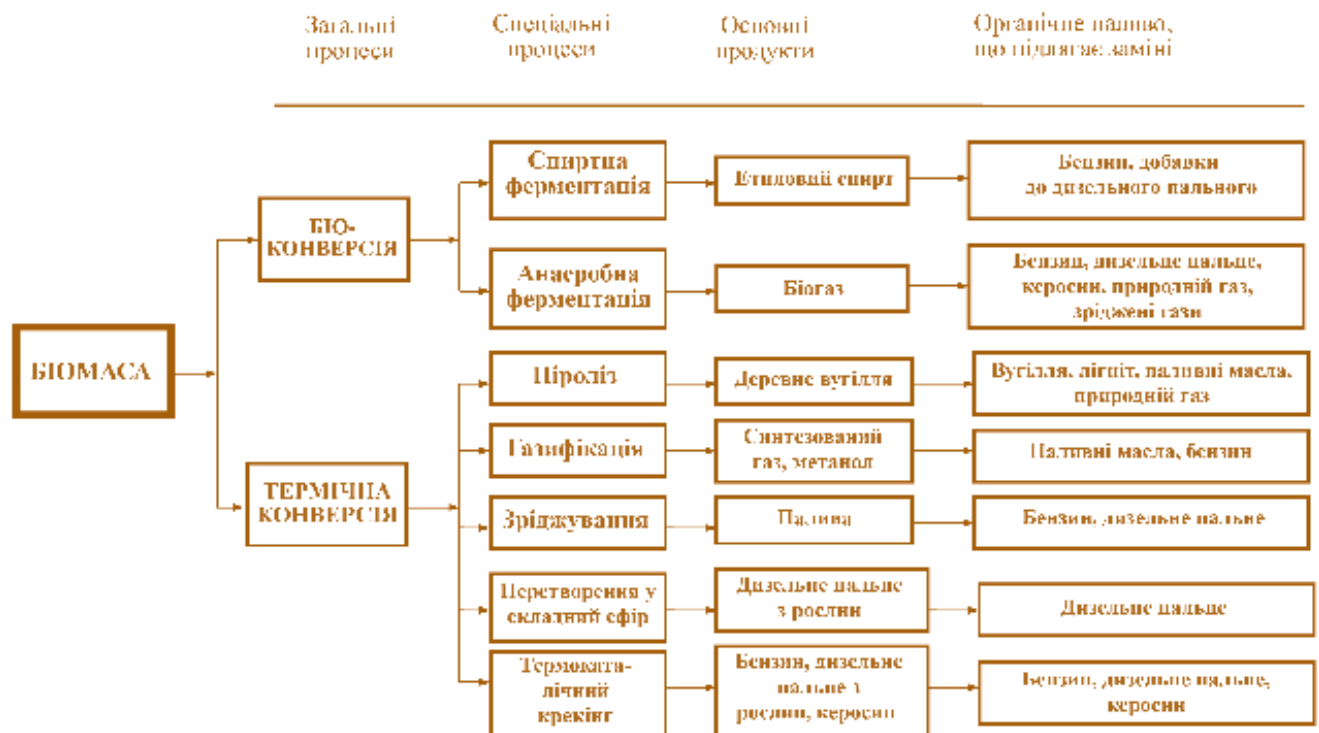


Рис.3.3. Класифікація технологій з перетворення енергії біомаси

Пряме спалювання біомаси це один з найбільш старих методів одержання теплової енергії. Про те існує ряд проблем в процесі його практичного використання, основною з них є забезпечення максимально повного згоряння палива, в результаті чого утворюються діоксин вуглецю та вода, яка не завдає шкоди навколишньому середовищу.

До технічних пристроїв, котрі застосовуються для безпосереднього спалювання біомаси відносяться печі, камери згоряння, топки. Біомаса може застосовуватися при прямому спалюванні в енергетичних установках у факелі, киплячому чи ущільненому шарі та з подальшим отриманням теплової та електричної енергії. Головна промислова технологія в цьому напрямку є пряме спалювання у котлах та генерація електроенергії у паротурбінних установках.

Піроліз біомаси це хімічне перетворення одних видів органічних сполук у інші за допомогою теплоти або так званої сухої перегонки без доступу окислювачів, а саме кисню чи повітря.

Розроблено ряд технологічних процесів для піролізу біомаси, експлуатаційні умови для кожного з яких визначаються природою походження сировини, методами переробки, а також заданими продуктами процесів виробництва.

Характеристика продуктів піролізу в основному залежить від типу сировини та умов проведення процесу.

Основними продуктами піролізу є вуглиста речовина, паливні рідини та гази, причому досить часто технологічний процес зорієнтований на отримання одного із продуктів піролізу.

Газифікація біомаси полягає у перетворенні твердих відходів біомаси у горючі гази за допомогою неповного їх окислення повітрям (киснем чи водяною парою) за високої температури.

Газифікувати практично можна будьяке паливо, у результаті чого отримують гази, що мають значний діапазон для їх використання: як паливо для одержання теплової енергії у побуті та різних технологічних процесах у промисловості, а також у двигунах внутрішнього згоряння.

Не зважаючи на значну кількість способів газифікації, усі вони здійснюються за одними і тими ж реакціями (рис.3.4). Газифікатори характеризуються різними продуктивностями із різним виходом енергії у паливному газі. Газ низькокалорійний, може бути отриманий шляхом газифікації різних видів біомаси, а саме органічних компонентів міських твердих відходів, сільськогосподарських і лісових відходів. Також ефективним є використання обладнання для газифікації біомаси, яке працює на газотурбінних та парогазових електростанціях.

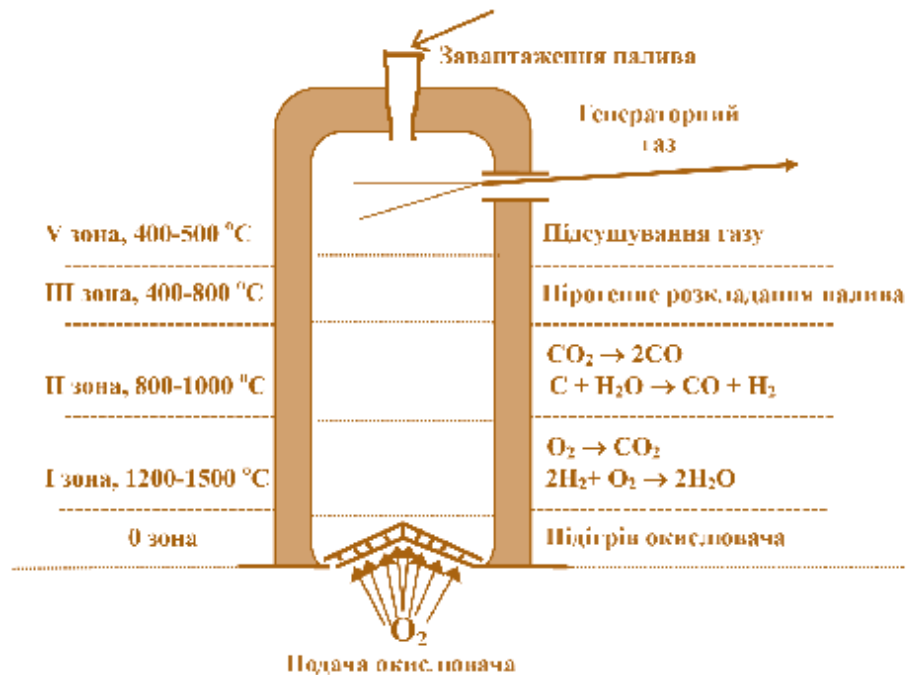


Рис.3.4. Газифікація біомаси

У процесі анаеробної ферментації біомаси складні органічні сполуки розкладаються на  $\text{CO}_2$  та  $\text{CH}_4$  із утворенням біогазу, який має вигляд суміші вуглекислого газу та метану, причому частка метану може складати до 70%. Технологічний процес при анаеробному зброджуванні біомаси здійснюється без надходження кисню у спеціальні реактори-метантенки, конструкція котрих сприяє забезпеченню максимальному виділенню метану.

Досить важливим у процесі анаеробного бродіння є створення оптимальних технологічних умов у реакторі-метантенку, а саме температури та надходження кисню, необхідної концентрації живильних речовин, необхідного значення рН, низької концентрації чи відсутності токсичних речовин.

Порівняльні енергетичні показники для традиційних енергоносіїв та біогазу наведено в табл.3.1.

Таблиця 3.1

Порівняльні енергетичні показники для традиційних енергоносіїв та біогазу

Продукт	Одиниці вимірювання	Еквівалент 1м <sup>3</sup> неочищеного біогазу 23 МДж/м <sup>3</sup>	Еквівалент 1 м <sup>3</sup> очищеного біогазу 35 МДж/м <sup>3</sup>
Електроенергія	кВт·ч	0,63	0,95
Природний газ	м <sup>3</sup>	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 м<sup>3</sup> 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 найбільш простої біогазової анаеробної установки для використання в індивідуальному господарстві зображена на рис.3.6.

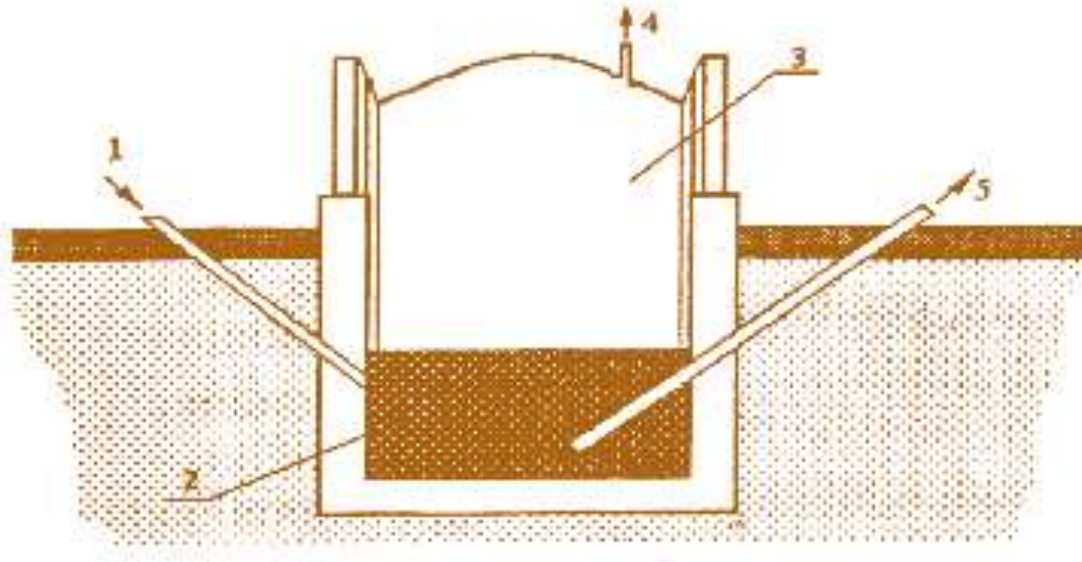


Рис.3.6. Конструктивно-технологічна схема анаеробної установки:

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 одержання теплової та електричної енергії, яка є необхідною для фермерських господарств. При масовому застосуванні біогазових технологій у сільських регіонах можна забезпечити значну економію органічного палива (рис.3.7).

Викликає інтерес вирощування та застосування у метантенках водяної рослинної біомаси з метою отримання біогазу. Однією із найбільш ефективних водоростей є бурі водорослі макроцистис, які розповсюджені в прибереговій лінії морів та океанів з врожайністю 450–1200 т сирої маси з 1 га. Із кожної тонни хлорели можна отримати до 22 кДж енергії. Значною врожайністю відрізняються морські водорослі дуналіела, червоні водорослі, а також водяний гіацинт, тощо.



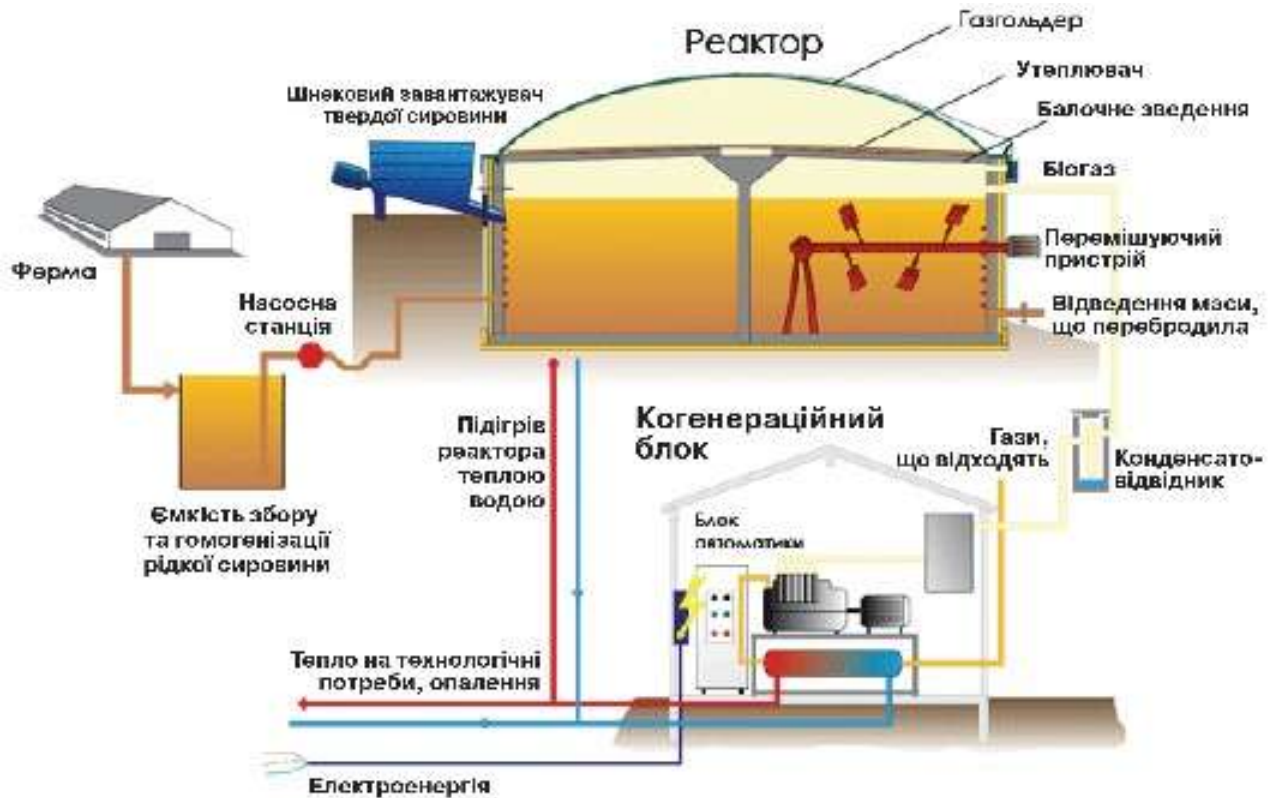


Рис.3.7. Схема біогазової установки

Розроблена гібридна енергосистема «Біосоляр» – ТЕЦ, котра є замкненою для усіх біогенних елементів, крім вуглецю, який спалюється (рис.3.8).

Система «Біосоляр» представляє собою цілий комплекс із культивування мікроводоростей, з котрих виділяють харчові та кормові добавки, а те що залишилось є одним із елементів для наповнення метантенків. З метою культивування мікроводоростей потрібний  $\text{CO}_2$ , що подається до них в результаті очищення при спалюванні біогазу у котлах ТЕЦ.

Для одержання біогазу також використовуються відходи тваринництва та рослинності. У даній схемі також передбачене додаткове джерело енергії у вигляді природного газу, котрий використовується в випадку необхідності у зимовий період за відсутності біомаси з рослин.

В біоенергетиці України також може бути застосований значний енергопотенціал біомаси, у тому числі надлишок соломи та стеблів сільськогосподарських рослин, які складають близько 20 млн. т, для опалювальних котелень, які розташовані в сільських місцевостях (споживаючих близько 2,9 млн.т у.п. за рік), а також для енергетичних установок.

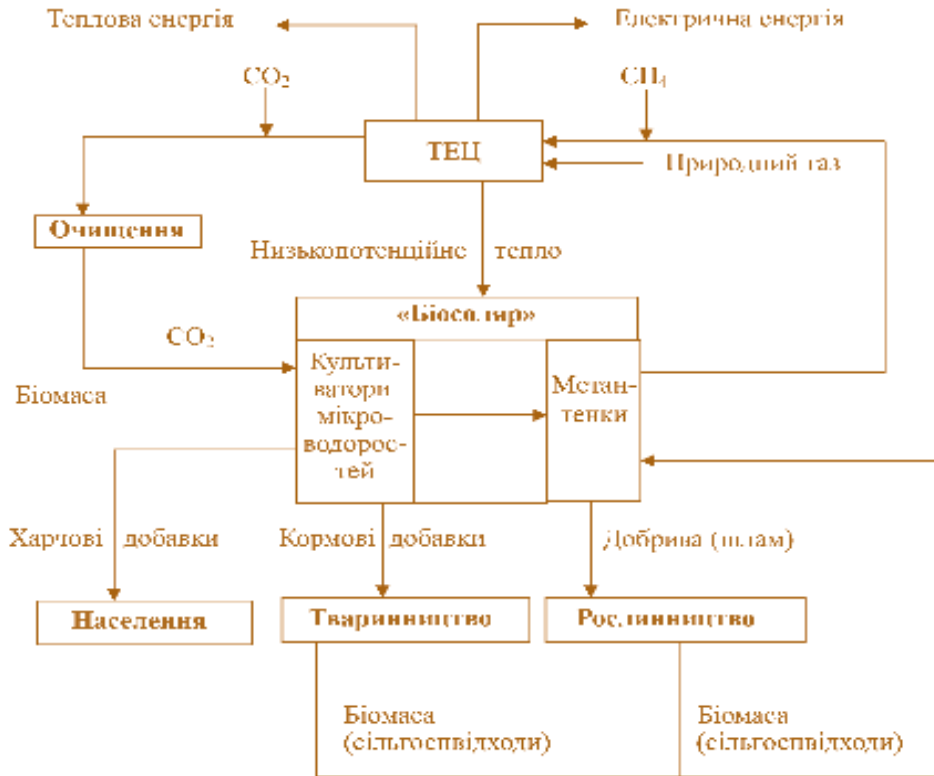


Рис.3.8. Блок-схема гібридної енергосистеми «Біосоляр» – ТЕЦ

Досить ефективним шляхом є виробництво та використання біогазу в процесі переробки рослинної та тваринної біомаси, а також відходів деревообробних підприємств (рис.3.9). Іншим джерелом отримання біомаси є звалища сміття. Потенційні можливості одержання біогазу зі звалищ можуть складати близько 1,6 млн. т у.п. Сировиною, з котрої можна отримувати біогаз, практично можуть бути всі відходи, де є різні органічні компоненти.



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

### 3.3. Перспективні напрямки виробництва біогазу в Україні

У 2010 році країни ЄС виробили близько 14 млрд кубометрів біогазу і найближчій перспективі планують подвоїти його виробництво. Україна може щороку виробляти біля 6 млрд кубів такого палива.

Згідно даних Міжнародного енергетичного агентства 13,1% первинної енергії в 2010 році у світі було вироблено з відновлюваних джерел енергії – ВДЕ.

Починаючи з 1991 року до 2010 року споживання енергії з ВДЕ у Європейському союзі збільшилося практично удвічі до 12,4% від загального кінцевого енергоспоживання ЄС-27.

У 2011 році в ЄС близько 57% біогазу вироблено на біогазових установках, які використовують як сировину відходи агропромислового виробництва та спеціальну рослинну сировину.

Близько третини виробленого біогазу отримано на полігонах з твердих побутових відходів – ТПВ, а решту – 12% - на станціях від очищення стокових вод.

Біогаз в значній мірі використовується для виробництва електроенергії та тепла. Так, у 2011 році виробництво електроенергії з біогазу в країнах ЄС виросло у порівнянні з 2010 роком на 18,5%. За цей же період продажі тепла, яке з виробленого з біогазу, підприємствам, а також тепловим мережам зросло на 16%.

У загальному балансі виробництва електроенергії з ВДЕ у країнах ЄС електроенергія, яка отримана з біогазу становить близько 4,5%, а у загальному балансі виробництва електроенергії із біомаси – 24,5%.

Згідно прогнозів Єврокомісії щодо структури виробництва електроенергії з ВДЕ у країнах ЄС у 2020 році частка електричного струму виробленого з біогазу становитиме 8%, перевищуючи внесок малої гідроенергетики, сонячної та геотермальної енергетики, а також електроенергії, виробленої з твердих побутових відходів.

В останні роки почали стрімко розвиватися проекти з виробництва очищеного біогазу – біометану – з подальшим закачуванням газу в розподільчі мережі.



### 3.10. Будівництво біогазової установки в Латвії

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 м<sup>3</sup> на рік.

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

Так, наприклад, у Німеччині для даних цілей було задіяно близько 1 млн га, що складало 8,3% від сумарної площі орних земель.

Згідно оцінки аналітиків, ринок біогазу продовжує стрімко розвиватися, заміщуючи інші види енергоносіїв у структурі енергетичного балансу країни.

В Україні перша установка була збудована в 1993 році на свинофермі "Запоріжсталі". Наступними стали компанії "Агро-овен", Українська молочна компанія", "Еліта".

Таблиця 3.2

## Діючі біогазові установки в Україні

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

Біогазова установка на металургійному комбінаті "Запоріжсталь" була впроваджена з метою очищення стоків, а також для зменшення споживання енергії. Здійснення теплової утилізації біогазу було реалізовано для власних потреб свинокомплексу.

На свинокомплексі підприємства "Агро-овен" електроенергія, яка виробляється в біогазовій установці, використовується для власних потреб, при цьому дана когенераційна установка не була підключеною до загальної електромережі.

Експлуатація БГУ фірми "Еліта" була призупинена у 2011 році через нерентабельність її роботи внаслідок відсутності "зеленого" тарифу. Єдиною біогазовою установкою, яка підключена до мережі, є БГУ на власній фермі "Української молочної компанії".

У вересні в 2011 році почалося будівництво біогазової установки на свинокомплексі в селі Копанки Івано-Франківської області (рис.3.11).



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

У 2012 році на підприємстві "Миронівський хлібопродукт" почали будувати БГУ на птахофабриці "Оріль-лідер" у Дніпропетровській області.

На даний час планується реалізувати амбітну біогазову програму із тридцяти БГУ компанією "Укрлендфармінг".

У 2012 році агропромхолдинг "Астарта-Київ" анонсував початок будівництва біогазової установки на Глобинському цукровому заводі в Полтавській області за рахунок кредиту ЄБРР.

Отже, впровадження біогазових технологій є справою передових компаній АПК, які мають власні ресурси для ефективної роботи в умовах слабого фінансового ринку, а також відсутності значних інвестицій.

Також працюють біогазові установки на полігонах у Ялті, Алушті, Львові, Луганську, Маріуполі, Кременчуці, Києві, а також на Бортницькій станції аерації.

Таблиця 3.3

## Діючі 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, ДВЗ 170 кВт
Кременчук	2,8	15,0	1965	н/д	ФУ Haase
Луганськ	2,0	11,6	1979-2010	2011	ФУ Biogas Ltd, UK, 600 m <sup>3</sup> /h
Запоріжжя	3,2	11,0	1952	2011	ФУ Haase
Вінниця	3,0	10,0	1980	2012	ФУ Haase
Київ	10,0	36,0	1986	2012	ДВР TEDOM 5x189 кВт

Проект на Київському полігоні №5, який реалізовано компанією ЛНК, є найбільш успішним з українських біогазових проектів (рис.3.12). На полігоні працює п'ять біогазових двигунів виробництва компанії TEDOM із встановленою потужністю 177 кВт кожний.

У 2012 році вироблено та поставлено у мережу за економічно обґрунтованим тарифом, який визначено НКРЕ, 3,3 ГВт/год електроенергії. Дана компанія нарощує потужності цього проекту. Заплановано введення у експлуатацію газопоршневої установки виробництва компанії GE Jenbacher з потужністю 1 063 кВт.



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

Окрім цього, ЛНК вводить в експлуатацію аналогічну газопоршневу установку на полігоні ТПВ в м.Борисполі. З травня 2013 року компанія ЛНК отримала змогу продавати струм, який вироблено з біогазу на Бориспільському полігоні, згідно "зеленого" тарифу - 134,46 копійок за кВт/год.

Агропромисловий комплекс України, виробляючи великі обсяги органічних відходів, має достатньо ресурсів для виробництва біогазу, які здатні замінити 1,5 млрд м<sup>3</sup> газу в рік. За інтенсивного розвитку даної галузі та широкому використанні рослинної сировини даний потенціал можна довести до 18 млрд м<sup>3</sup> в перерахунку на природний газ.



В першому випадку передбачено в Україні використовувати близько 6% орних земель для вирощування кукурудзи для виробництва біогазу із консервативною величиною урожайності 30 тонн на га. У другому варіанті, з більш вищим прогнозом, передбачено використовувати близько 8 млн га вільних земель від посівів з врахуванням підвищеної врожайності.

Таблиця 3.4

## Потенціал виробництва біогазу в агровиробцтві України

Вид діяльності	Кількість підприємств в Україні	Загальні обсяги основних відходів	Потенціал виробництва біогазу із загальних обсягів відходів і продукції
		тис тонн	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

Значна частина потенційного ринку біогазових установок в Україні може бути освоєною до 2030 року. Необхідною умовою для реалізації даних проєктів є введення, на першому етапі, економічно обґрунтованого зеленого тарифу для виробництва електроенергії з біогазу.

Для забезпечення реалізації ефективних енергетичних біогазових проєктів важливим є стимулювання виробництва електроенергії із біогазу, який отриманий не лише з відходів біомаси, а також із спеціальної рослинної сировини.

Паралельно із виробництвом електричного струму доцільно забезпечити виробництво біометану з метою прямого заміщення природного газу чи більш ефективної енергетичної утилізації біогазу в процесі виробництва електроенергії і тепла.

Одним із перевірених та ефективних механізмів для стимулювання розвитку відновлюваних джерел енергії є використання фіксованих "зелених" тарифів для електроенергії, яка вироблен з ВДЕ.

В Україні для виробленої електроенергії з біогазу, гарантований законом зелений тариф діє лише з квітня 2013 року, а його величина складає 0,1239 євро за кВт/год із коефіцієнтом, рівним 2,3.

На даний час існують певні законодавчі бар'єри при виробництві електроенергії з біомаси, а також пропозиції стосовно їх подолання:

- необґрунтовано низький коефіцієнт "зеленого" тарифу для виробленої електроенергії із біогазу;
- некоректне визначення самого терміну "біомаса";
- необґрунтовані вимоги стосовно частки "місцевої складової", а саме обсягів використання матеріалів, обладнання та послуг вітчизняного виробництва;
- термінологічні помилки при описанні основних елементів для обладнання та об'єктів електроенергетики, які використовують енергію з біогазу;
- дискримінаційний підхід стосовно біогазових установок, які введені в експлуатацію до 1 квітня 2013 року.

Окрім законодавчих бар'єрів, на даний час існують і інші перешкоди для розвитку виробництва біогазу:

- відсутність нормативної бази;
- складність застосування пільг на податки при ввезенні біоенергетичного устаткування;
- відсутність цільового фінансування проектів біогазових установок українського виробництва;
- відсутність програми для розвитку даної галузі.

Враховуючи технічну та економічну доцільність та поточну структуру і величину підприємств з агропромислового виробництва України, обсяги ринку з біогазових установок оцінюється близько 1600 установками з міні-ТЕЦ та потужністю від 100 кВт. Сумарна встановлена потужність БГУ може досягнути 820 МВт для електричних та 1100 МВт для теплових.

До 2020 року та до 2030 року необхідно освоїти відповідно 10% та 50% економічно доцільного ринку біогазових установок. При цьому загальне річне виробництво електроенергії у 2020 році повинно становити 0,45 млрд кВт/год та 2,5 млрд кВт/год у 2030 році.

Таблиця 3.5

Концепція 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 струму	МВт тепла	млн кВт/год	млн Гкал	млн тонн на рік	млн грн	одиниць	тис га
2020 рік									
143	290	74	97	448	0,395	1,2	2645	920	27
2030 рік									
811	1655	420	550	2538	2,235	6,0	14970	5190	155

При цьому із силосу кукурудзи загально буде вироблено біля двох третин об'єму біогазу, а решту - з відходів.

Для вирощування запланованого обсягу силосу кукурудзи потрібно використати 0,15 млн га орних земель, що складає 0,5% від їх загальної площі чи 4,3% від площі вільних земель.

Потенціал використання тепла від міні-ТЕЦ орієнтовно становитиме 0,4 млн Гкал у 2020 році та 2,25 млн Гкал в 2030 році.

До 2030 року повинно бути створено близько 5200 робочих місць, а викиди парникових газів повинні скоротитися на 6 млн тонн на рік.

У світі виробництво біогазу інтенсивно зростає згідно тенденції до інтенсифікації діючих технологій та пошуків нових видів сировини та технологій з їх переробки, а також максимально повного використання енергії біогазу.

У 2010 році в країнах ЄС було вироблено близько 13,5 млрд кубометрів біогазу, також планується подальше зростання виробництва, як мінімум у два рази до 2020 року.

Інтенсивний розвиток біогазових технологій в Україні може дозволити у найближчій перспективі виробляти щорічно близько 1,5-6 млрд кубометрів.

Це стане значним внеском в забезпеченні енергетичної незалежності України.

Для інтенсивного збільшення виробництва біогазу та електричної енергії з нього, потрібно створити належні умови для ефективного розвитку цього виду бізнесу.

Першочерговим завданням є підвищення "зеленого" тарифу до 0,1616 євро за кВт/год для біогазу, виготовленого з відходів агропромислового виробництва та до 0,1454 євро за кВт/год для інших видів виробленого біогазу.

Необхідно активізувати залучення крупних інвестицій в дану галузь.

При інтенсивному впровадженні біогазових установок інвестиції в дану галузь вони до 2030 року можуть становити не менш як 15 млрд грн.

### 3.4. Висновки до третього розділу

За матеріалами третього розділу можна зробити наступні висновки

Визначено економічні та соціальні перспективи виробництва та використання біогазу в Україні.

Екологічний ефект від біогазового виробництва полягає в екологічній безпеці переробки органічних відходів та розвитку комплексних технологій для утилізації біомаси з метанового збродження.

Розрахунки засвідчують, що не зважаючи на суттєві капітальні вкладення, строк окупності промислових біогазових установок становить приблизно три роки. Загальні обсяги можливого виробництва біогазу із агропромислової сировини в Україні фахівці Національного університету біоресурсів і природокористування оцінюють приблизно на рівні 1,6 млн. тонн так званого умовного палива.

Установки для виробництва біогазу можна реалізовувати при проектах спільних розробок та впровадження (згідно Кіотського протоколу), за рахунок продажів квот на викиди CO<sub>2</sub> також отримувати додаткові доходи.

У порівнянні з іншими альтернативними джерелами енергії біогаз є досить гнучким при використанні та знаходить застосування у наступних важливих напрямках, а саме виробництво електроенергії, палива та тепла.

Визначено напрямки застосування сучасних біоенергетичних технологій.

Важливим напрямком також повинна стати розробка екобіотехнологій, які спрямовані на виробництво біогазу з органічних відходів, а також застосування біоіндикації та біотестування в системі проведення екологічного моніторингу.

Найбільш ефективними технологіями при використанні біомаси у біоенергетиці є пряме спалювання; газифікація; піроліз; анаеробна ферментація при утворенні метану; виробництво спиртів і масел для одержання моторного палива.

Наведено класифікацію технологій з почерговим перетворенням біомаси у енергетичні продукти.

Описані технологічні процеси газифікація біомаси.

Наведено порівняльні енергетичні показники для традиційних енергоносіїв та біогазу.

В біоенергетиці України також може бути застосований значний енергопотенціал біомаси, у тому числі надлишок соломи та стеблів сільськогосподарських рослин, котрі складають близько 20 млн. т, для опалювальних котелень, які розташовані в сільських місцевостях (споживаючих близько 2,9 млн.т у.п. за рік), а також для енергетичних установок.

Досить ефективним шляхом є виробництво та використання біогазу в процесі переробки рослинної та тваринної біомаси, а також відходів деревообробних підприємств. Іншим джерелом отримання біомаси є звалища сміття. Потенційні можливості одержання біогазу зі звалищ можуть складати близько 1,6 млн. т у.п. Сировиною, з котрої можна отримувати біогаз, практично можуть бути всі відходи, де є різні органічні компоненти.

Наведено перспективні напрямки виробництва біогазу в Україні.

Згідно прогнозів Єврокомісії щодо структури виробництва електроенергії з ВДЕ у країнах ЄС у 2020 році частка електричного струму виробленого з біогазу становитиме 8%, перевищуючи внесок малої гідроенергетики, сонячної та геотермальної енергетики, а також електроенергії, виробленої з твердих побутових відходів.

Наведені матеріали з діючих систем збору та утилізації біогазу на полігонах твердих побутових відходів.

Наведені дані потенціалу виробництва біогазу в агровиробцтві України.

Значна частина потенційного ринку біогазових установок в Україні може бути освоєною до 2030 року. Необхідною умовою для реалізації даних проєктів є введення, на першому етапі, економічно обґрунтованого зеленого тарифу для виробництва електроенергії з біогазу.

Для забезпечення реалізації ефективних енергетичних біогазових проєктів важливим є стимулювання виробництва електроенергії із біогазу, який отриманий не лише з відходів біомаси, а також із спеціальної рослинної сировини.

Паралельно із виробництвом електричного струму доцільно забезпечити виробництво біометану з метою прямого заміщення природного газу чи більш ефективної енергетичної утилізації біогазу в процесі виробництва електроенергії і тепла.

Одним із перевірених та ефективних механізмів для стимулювання розвитку відновлюваних джерел енергії є використання фіксованих "зелених" тарифів для електроенергії, яка вироблена з ВДЕ.

Приведена концепція застосування біогазових установок в агропромисловому виробництві України до 2030 року.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Проаналізовано основні законодавчі акти та нормативно-правова база щодо розвитку біоенергетики.

Наведені результати досліджень стосовно світового прогнозування розвитку відновлюваних джерел енергії.

Визначено сучасний стан та перспективи розвитку біоенергетики в Україні та проведено аналіз типових інвестиційних проектів для будівництва біогазових установок.

Загальна частка відновлюваних джерел енергії складає на даний час понад 9% від сумарного споживання енергії в ЄС. Основною метою є досягнення даного показника до 20% у 2020 р.

Інтенсивний розвиток біогазових технологій та їх впровадження в Україні здатний здійснити заміщення від 3 до 8 млрд. м<sup>3</sup>/рік природного газу.

Типові проекти з виробництва біогазу будуть мати дисконтований строк окупності проектів біля 7-10 років, що є мінімально необхідним для залучення інвесторів у дану галузь.

Розвиток передових біогазових технологій дозволить внести значний вклад у підвищення енергетичної незалежності України, також створить альтернативний газовий ресурс, забезпечить зменшення гостроти покриття пікових навантажень при енергозабезпеченні, а також сприятиме розвитку місцевої економіки.

Стимулюючи виробництво електроенергії, виробленої з біогазу та біометану, Україна одночасно підвищить рівень екологічної безпеки на переважній частині своєї території, так як відходи птахівництва, тваринництва, харчової та переробної промисловості вже на сьогодні складають загрозу здоров'ю населення, екологічного стану ґрунтів, повітря, а також підземних водних ресурсів. Застосування біогазових технологій – це один з основних і раціональних шляхів для знешкодження органічних відходів;

Будівництво біогазових установок та відповідної інфраструктури із поступовим переходом на виробництво та застосування власного обладнання



додатково стимулюватиме українську економіку. Інвестиції у цю галузь можуть сягнути до 30 млрд. гривень в довгостроковій перспективі;

Здійснено аналіз сучасних технологій для виробництва біогазу, а також проведено розрахунок їх економічної ефективності.

Приведена загальна модель процесу утворення біогазу, визначено сировину виробництва біогазу.

Визначено етапи процесу виготовлення біогазу, до яких відноситься гідроліз, ацидогенез, ацетогенез та метаногенез.

Наведено етапи спеціального розщеплення окремих груп речовин до яких відносяться: розщеплення вуглеводів (наприклад: цукрові буряки, картопля, суміші качанів, зерна), яке забезпечує швидке постачання енергії; розщеплення білку (наприклад: конюшина, трав'яний силос, силос цілих рослин жита), як постачальники енергії; розщеплення жирів (наприклад, соняшник), які збагачують метаном біогаз; розщеплення лігніноцелюлози (наприклад ландшафтний матеріал).

Встановлено, які мікроелементи та макроелементи забезпечують мікроорганізми мінеральними речовинами.

Проведено техніко-економічне обґрунтування самоокупності ферми для утримання великої рогатої худоби за рахунок виробництва біогазу.

Доведено, що при утриманні великої рогатої худоби на фермі з поголів'ям 458 голів можливо повністю виробничий процес забезпечити енергоносіями власного виробництва, які отримують з гною.

Встановлено, що за умов виробництва тваринницької продукції об'єм біореактора складає  $626 \text{ м}^3$  при разовому завантаженні  $85 \text{ кг/м}^3$  з енергетичним балансом біогазової установки  $58149 \text{ МДж/добу}$ .

Обґрунтовано, що за цикл біогазова установка виробляє –  $154574 \text{ МДж}$  теплової енергії, а залишкова енергія для використання на технологічні операції складає -  $131388 \text{ МДж}$ .

Представлена методика техніко-економічних розрахунків самоокупності ферми переконливо демонструє доцільність проведення наукових досліджень по використанню екскрементів для виробництва біогазу та органічних добрив,

де доцільно удосконалювати, як біогазові установки та отримання екскрементів з підвищеним вмістом субстанції для розвитку мікроорганізмів.

Серед всіх поновлюваних джерел енергій біогаз має особливий статус, так як він знаходить різноманітне застосування у всіх сферах електроенергетики, виробництва тепла та використовується у якості пального, а також може постійно вироблятися відповідно до потреб на основі наявної місцевої сировини.

Визначено економічні та соціальні перспективи виробництва та використання біогазу в Україні.

Екологічний ефект від біогазового виробництва полягає в екологічній безпеці переробки органічних відходів та розвитку комплексних технологій для утилізації біомаси з метанового збродження.

Розрахунки засвідчують, що не зважаючи на суттєві капітальні вкладення, строк окупності промислових біогазових установок становить приблизно три роки. Загальні обсяги можливого виробництва біогазу із агропромислової сировини в Україні фахівці Національного університету біоресурсів і природокористування оцінюють приблизно на рівні 1,6 млн. тонн так званого умовного палива.

Установки для виробництва біогазу можна реалізовувати при проектах спільних розробок та впровадження (згідно Кіотського протоколу), за рахунок продажів квот на викиди CO<sub>2</sub> також отримувати додаткові доходи.

У порівнянні з іншими альтернативними джерелами енергії біогаз є досить гнучким при використанні та знаходить застосування у наступних важливих напрямках, а саме виробництво електроенергії, палива та тепла.

Визначено напрямки застосування сучасних біоенергетичних технологій.

Важливим напрямком також повинна стати розробка екобіотехнологій, які спрямовані на виробництво біогазу з органічних відходів, а також застосування біоіндикації та біотестування в системі проведення екологічного моніторингу.

Найбільш ефективними технологіями при використанні біомаси у біоенергетиці є пряме спалювання; газифікація; піроліз; анаеробна ферментація

при утворенні метану; виробництво спиртів і масел для одержання моторного палива.

Наведено класифікацію технологій з почерговим перетворенням біомаси у енергетичні продукти.

Описані технологічні процеси газифікація біомаси.

Наведено порівняльні енергетичні показники для традиційних енергоносіїв та біогазу.

В біоенергетиці України також може бути застосований значний енергопотенціал біомаси, у тому числі надлишок соломи та стеблів сільськогосподарських рослин, котрі складають близько 20 млн. т, для опалювальних котелень, які розташовані в сільських місцевостях (споживаючих близько 2,9 млн.т у.п. за рік), а також для енергетичних установок.

Іншим джерелом отримання біомаси є звалища сміття. Потенційні можливості одержання біогазу зі звалищ можуть складати близько 1,6 млн. т у.п. Сировиною, з котрої можна отримувати біогаз, практично можуть бути всі відходи, де є різні органічні компоненти.

Наведено перспективні напрямки виробництва біогазу в Україні.

Приведені дані з діючих систем збору та утилізації біогазу на полігонах твердих побутових відходів.

Наведені дані потенціалу виробництва біогазу в агровиробстві України.

Значна частина потенційного ринку біогазових установок в Україні може бути освоєною до 2030 року. Необхідною умовою для реалізації даних проектів є введення, на першому етапі, економічно обґрунтованого зеленого тарифу для виробництва електроенергії з біогазу.

Паралельно із виробництвом електричного струму доцільно забезпечити виробництво біометану з метою прямого заміщення природного газу чи більш ефективної енергетичної утилізації біогазу в процесі виробництва електроенергії і тепла.

Приведена концепція застосування біогазових установок в агропромисловому виробництві України до 2030 року.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Амоша А. И. Методологические подходы к оценке энергосберегающих процессов / А. И. Амоша, Ю. П. Колбушкин // Економіка промисловості. – 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 // Економіка та держава. – 2008. – № 1. – С. 4–7.
3. Апаршина О. І. Методологічні підходи до трактування поняття «ресурсозбереження» / О. І. Апаршина // Теоретичні і практичні аспекти економіки та інтелектуальної власності. – 2011. – Т. 1. – С. 112–120.
4. Бевз С. М. Энергосбережения – 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. Гайдучкий А. П. Методологічні аспекти інвестиційної привабливості економіки / А. П. Гайдучкий // Регіональна економіка. – 2004. – № 4. – С. 81–86.
7. Галузева програма з енергоефективності та енергосбереження 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 // Вісн. Харків. нац. техніч. ун-ту ім. Петра Василенка. – 2011. – Вип. 114. – 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. Єленіч // Вісник інженерної академії України. – К., 2013. – № 3-4. – С. 291–296.
10. Гевко Р. Б. Теоретичне обґрунтування параметрів переміщення сипкого матеріалу робочим органом скребкового транспортера-змішувача по

криволінійній трасі / 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. Р. Теоретичні і практичні аспекти ресурсозбереження / Ю. В. Дзядикевич, Б. Р. Гевко // Інноваційна економіка. – 2016. – № 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. Маляренко // Проблеми загальної енергетики. – 2007. – № 15. – С. 1–21.

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

15. Данченко А. Фінансові механізми ресурсозбереження на сучасному етапі розвитку / А. 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](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 №918/95 від 06.10. 1995 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.icps.com.ua/>.

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

20. Джеджула В. В. Оцінка економічної ефективності інвестицій в енергозберігаючі проекти / В. В. Джеджула // Економічний простір: – 2011. – №54. – С. 124–130.
21. Джеджула В. В. Сучасний стан та проблеми розвитку вітчизняного ринку енергоресурсів / В. В. Джеджула // 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, Р. Дзяний // Ефективність державного управління. – 2010. – № 23. – С. 72–79.
25. Докуніна К. І. Теоретичні аспекти формування економічного механізму енергозбереження / К. І. Докуніна // Комунальне господарство міст. – 2012. – № 106. – С. 341–350.
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. Методика побудови та аналізу. (Чинний від 01.07.2007 р.). – К., 2007.
30. ДСТУ 4715: 2007. Енергозбереження. Системи енергетичного менеджменту промислових підприємств. Склад і зміст робіт на стадіях розроблення та запровадження. (Чинний від 01.07.2007 р.). – К., 2007.
31. Економія доквілля і природних ресурсів: монографія / Ю.В.Дзядикевич та ін. – Тернопіль: Астон, 2016.- 392.

32. Енергетична безпека України 2020: виклики, можливості, сценарії. – К. : УСПП, 2011. – 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/ECONOMICS/energeticheskaya-strategiya-ukrainy-na-period-do-2030-goda-problemnye-voprosy-soderzhaniya-i-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. 236-241.
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 з питань енергетичної ефективності і

суміжних екологічних аспектів» : К.: №8998–ВР від 06.02.1998р. // Відомості ВР України – 1998. – Лют.

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

43. Карпов Б.А. Технология 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 Українська світлотехнічна галузь – сучасний стан та перспективи / Г. М. Кожушко, Ю. О. Басова // Світлолюкс. – 2008. – №5. – С. 74-77; – № 6 С. 76–79.

46. Корчемний Микола, Федорейко Валерій, Щербань Володимир Енергозбереження в агропромисловому комплексі – Тернопіль: Підручники і посібники, 2001.- 984.

47. Козаченко Г. В. Організаційно-економічний механізм як інструмент управління підприємством / Г. В. Козаченко // 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. Кузьмін О. Є. Сутність, роль і функції індивідуальної думки працівника у мотивуванні персоналу / О. Є. Кузьмін, Я. В. Кудря // Актуальні проблеми економіки. – 2009. – №1. – С. 119–126.
52. Лір В. Е. Економічний механізм реалізації політики енергоефективності в Україні : моногр. / В. Е. Лір, У. Є. Письменна ; НАН України ; Ін-т екон. та прогнозування. – 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// Енергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2007. – № 11. – С. 38–48.
55. Макогон Ю. В. Деякі аспекти реалізації політики енергозбереження в Україні : моногр. / Ю. В. Макогон. – Донецьк : ДонНТУ, 2012. – 200 с.
56. Маляренко В. А. Енергозбереження і поновлювальні енергоресурси – важливий шлях розвитку систем енергопостачання / В. А. Маляренко, О. Г. Гриб, О. І. Малєєв // Енергосбережение. 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 // Енергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2008. – № 3. – С. 43–49.
59. Миколюк О. А. Оцінка ефективності використання енергоресурсів на підставі аналізу енергоємності виробництва / О. А. Миколюк // Вісник Хмельницького національного університету. – 2009. – № 5, т.1. – С. 104–107.
60. Михайленко І. Д. Політика енергозбереження, потенціальні можливості енергозбереження в Україні / І. Д. Михайленко // Енергосбережение. – 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. Пархомець М. К. Організаційно-економічний механізм забезпечення дохідності сільськогосподарських підприємств: теорія, методика, практика : моногр. / М. К. Пархомець, 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 за участю іноземних студентів “Розвиток аграрного бізнесу в умовах глобалізації” 15-17 квітня, Тернопіль.- ТНЕУ.- С.183-186.
66. Праховник А. В. Концептуальні положення управління енергоефективністю в Україні / А. В. Праховник, Є. М. Іншеков // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 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/laws/main.cgi?nreg=555-15>.
68. Разумний Ю. Т. Енергозбереження / 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://nitol solar.com/rusolarenergy/>.
71. Стратегія енергозбереження в Україні. Т.1 / за ред. В. А. Жовтянського. – К. : Академперіодика, 2006. – 510 с.

72. Тарасенко А.П. Снижение травмирования семян при уборке и послеуборочной обработке. - Воронеж, 2003. - 331 с.
73. Трисвятский Л.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.О., Гевко Р.Б., Дзядикевич Ю.В. Теоретичні та прикладні аспекти економічної безпеки України // Інноваційна економіка.- 2015.- №4 (59).- С.301-310.
79. Яремко І. Організаційно-економічний механізм формування та реалізації потенціалу економічних систем / І. Яремко // Галицький економічний вісник. – 2010. – № 4(29). – С. 116–120.
80. Nevko B. Promising Projects of Energy Saving in Housing and Communal Services of Ukraine / B. Nevko // The Advanced Science Journal. – 2015. – ISSUE 01. – P. 103–105.
81. R. Nevko. Parameter justification for interworking relationship of elastic screw operating element with grain material/ Roman Nevko, 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 Sci. Tech. 58(7), 1433-1439.
83. Bauer C., Lebuhn M., Gronauer A. (2009). Mikrobiologische Prozesse in landwirtschaftlichen Biogasanlagen. LfL-Schriftenreihe 12/2009, ISSN 1611-4159.

84. Baserga U. (1998). Landwirtschaftliche Co-Vergarungs-Biogasanlagen, FAT-Berichte Nr. 512.
85. Bischofsberger W., Dichtl N., Rosenwinkel K.-H., Seyfried C. F., Bohnke B. (Hrsg.), (2005). Anaerobtechnik, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
86. Cirne D. G., Lehtomaki A., Bjornsson 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. Cypionka 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 soehngenii* and *Methanosarcina* spp. *FEMS Microbiol. Rev.* 88, 181-198.
90. Krause L., Diaz N.N., Edwards R.A., Gartemann K.H., Kromeke H., Neuweger H., Puhler A., Runte K.J., Schluter A., Stoye J., Szczepanowski R., Tauch A., Goesmann 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. Lebuhn M., Bauer C., Gronauer A. (2008). Probleme der Biogasproduktion aus nachwachsenden Rohstoffen im Langzeitbetrieb und molekularbiologische Analytik. In: VDLUFA- Schriftenreihe 64, 118-125, ISBN978-3-941273-05-4.
92. Lebuhn 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. Lebuhn 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 1<sup>st</sup> International Congress Biogas

Science 2009, 2.12. - 4.12.2009, Erding, LfL-Schriftenreihe 16/2, ISSN 1611-4159, 319-332.

94. Liebetrau J. (2008) Regelungsverfahren für die anaerobe Behandlung von organischen Abfällen, Manuskriptenreihe zur Abfallwirtschaft, Band 9, Hrsg.: W. Bidlingmaier, M. Kranert, Rhombos Verlag, Berlin.

95. Lynd L., Weimer P. J., van Zyl W. H., Pretorius I. S. (2002). Microbial Cellulose Utilization: Fundamentals and Biotechnology, Microbiology and Molecular Biology Reviews, 2002, p. 506.

96. Mata-Alvarez, J. (Ed.) (2003). Biomethanization of the Organic Fraction of Municipal Solid Waste, IWA Publishing, 1<sup>st</sup> edition, London.

97. Neumann W., Forkmann R., Krüger 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-Futteroptimierung, Bayer. Landesanstalt für Tierzucht, Grub.

100. Rohling 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/technik/32565/linkurl\\_0\\_2.pdf](http://www.lfl.bayern.de/ilb/technik/32565/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. (2003). Das Cellulosom - Eine Nanomaschine zum Abbau von Cellulose, Naturwissenschaftliche Rundschau, 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.