

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут Навчально-науковий інженерно-технічний інститут ім.акад.
І.С. Гулого

Кафедра Електропостачання та енергоменеджменту

Освітній ступінь бакалавр

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(код і назва)

Освітньо-професійна програма «Електротехнічні системи електроспоживання»
(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

“ _____ ” _____ 2022 року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Совтан Іван Іванович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Підвищення рівня ефективності електрозабезпечення житлових та громадських будівель за рахунок відновлюваних джерел енергії».

керівник роботи професор Серьогін Олександр Олександрович
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом закладу вищої освіти від 11.11.2022 року № 809-кс

2. Строк подання здобувачем роботи 25.01.2023р.

3. Вихідні дані до роботи Навантаження електрозабезпечення житлових та громадських будівель. Аналіз вартості сучасних енергоносіїв. Температура повітря регіону в одну годину.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналіз стану та перспекиви розвитку комбінованих енергетичних систем.
2. Методологія розрахунку. Практичне застосування. Пропозиції по впровадженню.

5. Перелік графічного матеріалу

1. Презентація- 14 слайдів

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
ОП			

7. Дата видачі завдання 12.11.2022р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
	Отримання завдання на дипломне проектування	15.11.2022 р.	
	Вступ, анотація	23.11.2022 р	
	Аналіз стану та перспективи розвитку комбінованих енергосистем.	30.11.2022 р	
	Методологія розрахунку наявної ефективності	05 12.2022 р	
	Пропозиції по впровадженню роботи	20.12.2022 р	
	Висновки	04.01.2023 р	
	Оформлення пояснювальної записки.	10.01.2023 р	
	Оформлення презентації.	18.01.2023 р	
	Подання роботи до перевірки	25.01.2023 р.	

Здобувач _____
(підпис)

Совтан І.І.

Керівник роботи _____

Серьогін О.О.

АНОТАЦІЯ

Совтан Іван Іванович. Дипломна робота на тему «Підвищення рівня ефективності електрозабезпечення житлових та громадських будівель за рахунок відновлюваних джерел енергії».

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Національний Університет Харчових Технологій. Київ 2023

У дипломній роботі розглянуто питання підвищення енергоефективності у секторі міського господарства за рахунок комбінованих систем електропостачання з системою акумулювання. В даній роботі були розглянуті способи підключення комбінованих систем на основі відновлювальних джерел енергії, проведено аналіз їх особливостей, визначили їх переваги та недоліки, описали майбутні шляхи розвитку та впровадження комбінованих систем, проаналізували сучасний стан на сьогоднішній день в Україні та Європі. Розрахували ціну генерації для різних видів електростанцій. Порівняли переваги ціноутворення генерації відновлювальних джерел енергії та традиційних. Визначили критерії розробки математичної моделі оптимізації вироблення електроенергії комплексною електроенергетичною системою. На підставі проведених досліджень розробили практичне застосування дискретного програмування для оптимізації функціонування комбінованих автономних систем електропостачання. Провели збір даних умов генерації електричної енергії вітровою електричною станцією та розрахували обсяги генерації для комбінованої системи на основі вітряка. Спираючись на попередні розрахунки описали техніко-економічне обґрунтування ідеї по впровадженню у реальний проект.

Ключові слова: комбіновані системи електропостачання, відновлювальні джерела енергії, енергоефективність, ціноутворення електричної енергії, оптимізація вироблення електроенергії комплексною електроенергетичною системою.

ANNOTATION

Sovtan I.I. Thesis on the topic "Improving the level of efficiency of electrical supply of residential and public buildings through renewable energy sources.

141 "Electric power, electrical engineering and electromechanics"

National University of Food . Kyiv 2023

The thesis considers the issue of improving energy efficiency in the municipal sector through combined power supply systems with storage system. In this paper we considered ways to connect combined systems based on renewable energy sources, analyzed their features, identified their advantages and disadvantages, described future ways of development and implementation of combined systems, analyzed the current situation in Ukraine and Europe. Calculated the generation price for different types of power plants. The advantages of pricing for the generation of renewable energy sources and traditional ones were compared. The criteria for developing a mathematical model for optimizing the generation of electricity by a complex power system have been determined. On the basis of the conducted researches the practical application of discrete programming for optimization of functioning of the combined autonomous power supply systems was developed. We collected data on the conditions of electricity generation by the wind power plant and calculated the generation volumes for the combined wind turbine system. Based on preliminary calculations, they described the feasibility study of the idea of implementation in a real project.

Key words: combined power supply systems, renewable energy sources, energy efficiency, electricity pricing, optimization of electricity generation by a complex power system.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1. Аналіз стану та перспективи розвитку комбінованих енергетичних систем....	10
1.1 Опис проблеми застарілої системи енергопостачання.....	10
1.2 Технології генерації ВЕ/АЕ та різних схем акумулювання.....	13
1.3 Перспективи та загрози розвитку відновлювальних джерел	40
1.4 Використання енергетичних ресурсів в секторі міського господарства.....	48
Висновки до розділу	67
2. Методологія розрахунку рівня ефективності функціонування автономних систем електропостачання	68
2.1 EROEI та що впливає на ціну генерації електричної енергії	68
2.1.1 Дизельні електростанції.....	70
2.1.2 Сонячні електростанції.....	70
2.1.3 Вітрогенеруючі станції	74
2.2 Генерація електроенергії за рік з огляду затрат на кожну кВт*год	74
2.2.1 Установки на базі традиційних джерел енергії.	75
2.2.2 Системи на базі відновлюваних джерел енергії.	76
2.2.3 Ціноутворення електроенергії виробленої різними видами електростанцій.....	78
2.3 Критерії розробки математичної моделі оптимізації вироблення електроенергії комплексною електроенергетичною системою.....	79
Висновки до розділу	80

3. Практичне застосування дискретного програмування для оптимізації функціонування комбінованих систем електропостачання.....	81
3.1 Аналіз вхідних даних отриманих за допомогою опитувальних листів.	81
3.2 Аналітичний етап.....	83
Висновки до розділу	86
4. Пропозиції по впровадженню бакалаврської роботи	87
4.1 Опис ідеї по впровадженню	87
Висновки до розділу	88
ВИСНОВКИ	89
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	90

Вступ

Найбільш ефективними технологіями використання біомаси в біоенергетиці є пряме спалювання; піроліз; газифікація; анаеробна ферментація з утворенням метану; виробництво спиртів і масел для отримання моторного палива.

Технології використання біомаси постійно вдосконалюються, забезпечуючи отримання енергії в придатній для споживача формі й з максимально можливою ефективністю.

У загальному випадку енергія з органічних відходів отримується або фізичними, або хімічними чи мікробіологічними методами.

Фізичним методом енергію отримують шляхом спалювання органічних відходів.

Основою хімічного метода є використання процесів піролізу і газифікації.

Найрозповсюдженішим у світі є мікробіологічний метод безвідходного виробництва – отримання біогазу анаеробним зброджуванням. Дуже цінним продуктом виробництва біогазу є отримання високоякісних органічних добрив.

Біокверсія та ферментація органічних відходів є основними світовими трендами в питаннях енергетики на біомасі та альтернативної енергетики взагалі. Сьогодні багато уваги в усьому світі прикуто до технологій, що дозволяють отримувати альтернативні енергоносії з відновлюваних джерел. З цієї точки зору Україна, в зв'язку з розвиненим аграрним сектором, перебуває в дуже вигідному становищі, так як має всі передумови для розвитку енергії на біомасі. Впровадження новітніх технологій для розвитку альтернативної енергетики надасть Україні можливість зробити рішучий крок на шляху до енергетичної незалежності.

Світові тенденції в цьому напрямку показують, що розвиток альтернативної енергетики це довготривалі, але вигідні інвестиції в майбутнє.

Багато країн в усьому світі в умовах світової економічної кризи, так як і Україна, переживають гостру нестачу власних енергоносіїв та захмарну вартість їх на зовнішньоекономічних ринках. В зв'язку з цим, як ніколи, гостро постає питання про пошук альтернативних шляхів для досягнення енергетичної, і як наслідок, економічної стабільності.

Історично склалося так, що Україна завжди була розвиненою аграрною країною і “житницею Європи”, тому саме в Україні було б доцільно впроваджувати енергетику на біомасі. Агропромисловий комплекс України продукує значну кількість органічних відходів, які є прекрасною сировиною для переробки з подальшим отриманням альтернативних джерел енергії.

Одним з найоптимальніших шляхів переробки біомаси являється біоконверсія. Застосування біоконверсії при метануванні органічної сировини дозволяє переробляти будь-які органічні відходи і отримувати в результаті альтернативне джерело енергії - біогаз і високоякісне біодобриво. Тому використання технології метанування є вкрай важливим і дозволяє вирішити проблему використання шкідливих хімічних добрив та нестачі викопних енергоносіїв. Дана технологія може бути застосована для переробки органічних відходів всіх галузей агропромислового комплексу: сільськогосподарської продукції: соломи злакових культур (якщо не використовується на корм великій рогатій худобі, або як підстилка в тваринництві), відходи переробного виробництва сільськогосподарської продукції - лушпиння соняшника, гречки, рису (хоча інколи застосовують на виробництві як місцеве паливо), відходи тваринництва, лісопереробки, харчової промисловості, стічних вод та органічної складової твердих побутових відходів (відсортованих, без неорганічних домішок, та домішок неприродного походження), бурякового жому (якщо не використовується як корм для ВРХ).

В даній роботі пропонується один з найбільш прогресивних варіантів вирішення обох зазначених вище проблем – будівництво біогазового комплексу з використання технології біоконверсії для метанування жому

разом з відходами АПК з отримання біогазу, який буде спалюватися на ТЕЦ цукрового заводу. Застосування даної технології для переробки різних органічних відходів є загальноприйнятою практикою в багатьох країнах світу. Тільки в Європі загальна кількість біогазових установок перевищує 11 тисяч штук. Такі установки широко застосовуються як для переробки відходів агропромислового комплексу так і для переробки органічної складової побутових відходів. Використання біогазових установок для переробки бурякового жому знаходиться на початковому етапі, кількість таких установок в Європі не більше 10 штук. Тому дана тематика є актуальною для всього світу і тим паче для України.

1. Аналіз стану та перспективи розвитку комбінованих енергетичних систем

1.1 Опис проблеми застарілої системи енергопостачання

Спорудження біогазової установки не потребує виділення окремої території, так як для цих потреб може бути використана територія на якій знаходяться жомові ями.

Отримуючи з біомаси біогаз, з'являється можливість використовувати його на потреби підприємства. Так, з 1 м³ біогазу, залежно від вмісту метану, можна виробити від 1,5 до 2,2 kW електроенергії [1]¹. При виробництві електричної енергії також отримується і теплова енергія, яку також можна направити на потреби підприємства.

Цукровий завод являється одним із найскладніших, як з технологічної так і з технічної точки зору, виробництв. Виробництво цукру є складним технологічним процесом, що потребує значних затрат енергії. Основним джерелом енергії для цукрових заводів, за незначними винятками, являється

¹ <http://www.agro-t.de/Bio/biogas.html>

природний газ, який Україна змушена купувати за кордоном, так як власний видобуток не здатний покривати ростучі потреби промисловості. Вартість газу досить сильно впливає на вартість цукру, тому першочерговою є задача зменшення споживання газу та використання енерго- та ресурсощадних технологій.

На сьогоднішній день перед цукровими заводами України стоїть багато ключових завдань, вирішення яких покаже чи в змозі галузь крокувати у ногу з часом. Так як Україна має плани по виходу на світові ринки зі своєю продукцією, то в цукровій галузі потрібні колосальні зрушення в плані модернізації виробництва та застосування енергоощадних технологій задля зниження впливу вартості енергоносіїв на вартість кінцевої продукції. Вартість цукру напряму залежить від вартості і кількості спожитого палива для виготовлення тонни цукру.

Іншим ключовим питанням для цукрових заводів є питання подальшого використання жому. З розвитком тваринництва к Україні і світі неодноразово було доведено, що вологий жом, який отримується на зводі після обробки бурякової стружки в дифузійному апараті, не являється найкращим видом корму для великої рогатої худоби, так як не придатний для тривалого зберігання без втрати свої харчових властивостей. Безперечно дану проблему вирішує наявність жомосушильного комплексу на підприємстві, але такі комплекси є всього на декількох цукрових заводах в Україні. І навіть ті хто мають жомосушильні комплекси не поспішають їх використовувати на повну потужність, так як основним джерелом енергії для такого комплексу є все той же природній газ, ціна якого робить таке виробництво малорентабельним.

В даній роботі пропонується один з найбільш прогресивних варіантів вирішення обох зазначених вище проблем – будівництво біогазового комплексу з використання технології біоконверсії для метанування жому разом з відходами АПК з отримання біогазу, який буде спалюватися на ТЕЦ цукрового заводу. Застосування даної технології для переробки різних органічних відходів є загальноприйнятою практикою в багатьох країнах світу.

Тільки в Європі загальна кількість біогазових установок перевищує 11 тисяч штук. Такі установки широко застосовуються як для переробки відходів агропромислового комплексу так і для переробки органічної складової побутових відходів. Використання біогазових установок для переробки бурякового жому знаходиться на початковому етапі, кількість таких установок в Європі не більше 10 штук. Тому дана тематика є актуальною для всього світу і тим паче для України.

Також згідно «Концепції державної цільової науково-технічної програми виробництва і використання біологічних видів палива», прийнятою Кабміном, частка біопалива у загальному балансі країни у 2014 році повинна була збільшитись до 5 – 7%. Але обсяги потрібного фінансування (біля 7,5 млрд грн.) та можливі джерела їх надходження, головним чином, за рахунок державного та місцевих бюджетів не дозволили реалізувати ці плани.

При спорудженні біогазового комплексу, що працюватиме на відходах цукрового заводу, з'являється реальна можливість не лише значно скоротити витрати на енергію, але і підвищити ефективність підприємства, отримати додатковий прибуток, а також утилізувати органічні відходи.

Біогаз - суміш газів, що утворюється при анаеробному розкладанні біомаси, і використовується як паливо.²³⁴ До складу біогазу входить 55-70% метану, 27-44% вуглекислого газу, по 1% водню і сікководню, незначні кількості азоту, аміаку, ароматичних та галоген-ароматичних вуглеводнів.

Основним джерелом біогазу є органічні відходи: відходи тваринництва, відходи АПК, тверді побутові відходи (ТПВ) і т.д.

Біогаз - суміш газів, що утворюється при анаеробному розкладанні біомаси, і використовується як паливо.⁵⁶⁷ До складу біогазу входить 55-70%

² Наказ від 05.04.2007р. №121 "Про затвердження Правил з технічної експлуатації полігонів твердих побутових відходів"

³ Закон від 14.01.2000р. №1391-XIV "Про альтернативні види палива"

⁴ Наказ від 01.12.2010р. №435 "Про затвердження Правил експлуатації полігонів побутових відходів"

⁵ Наказ від 05.04.2007р. №121 "Про затвердження Правил з технічної експлуатації полігонів твердих побутових відходів"

⁶ Закон від 14.01.2000р. №1391-XIV "Про альтернативні види палива"

метану, 27-44% вуглекислого газу, по 1% водню і сікководню, незначні кількості азоту, аміаку, ароматичних та галоген-ароматичних вуглеводнів.

Основним джерелом біогазу є органічні відходи: відходи тваринництва, відходи АПК, тверді побутові відходи (ТПВ) і т.д.

Виробництво біогазу дозволяє так само запобігти викидам метану в атмосферу, зниженню застосування хімічних добрив, скорочення навантаження на ґрунти.

1.2 Технології генерації ВЕ/АЕ та різних схем зберігання енергії

По даним 90-х років, у російському тваринництві й птахівництві утворювалося близько 150 млн. тонн органічних відходів. Були проведені розрахунки, згідно з якими можна одержати з них близько 60 млрд. м³ метану, при спалюванні якого може бути вироблено 190 млрд. кВтч електроенергії. Крім того, при цьому виробляється 140 млн. тонн добрив, що відрізняються від гною наявністю зв'язаних азоту й фосфору, відсутністю гельмінтів, патогенної мікрофлори, насіннями бур'янів і іншими корисними властивостями.

Наведені в таблиці 1 фізичні властивості біогазу дозволяють будувати висновки про можливість його практичного використання й необхідні для цього пристосування. Об'ємна теплота згоряння (Q_V) визначається в основному вмістом CH_4 , оскільки незначні кількості H_2 і H_2S на цей показник практично не впливають. Відповідно температура займання й межа займистості теж залежать від вмісту CH_4 . При з'ясуванні можливості скраплення газової суміші необхідно враховувати критичні значення тиску й температури окремих її компонентів (див. табл. 1). Ці значення показують, що скраплення біогазу практично недоцільно. При використанні біогазу слід

⁷ Наказ від 01.12.2010р. №435 "Про затвердження Правил експлуатації полігонів побутових відходів"

враховувати різницю в щільності окремих його компонентів. У прохідних невентильованих приміщеннях це може привести до небезпечного для життя людей нагромадження CO_2 і H_2S у нижніх шарах повітря. Крім того, скупчення CH_4 пов'язане з небезпекою вибуху [2]⁸.

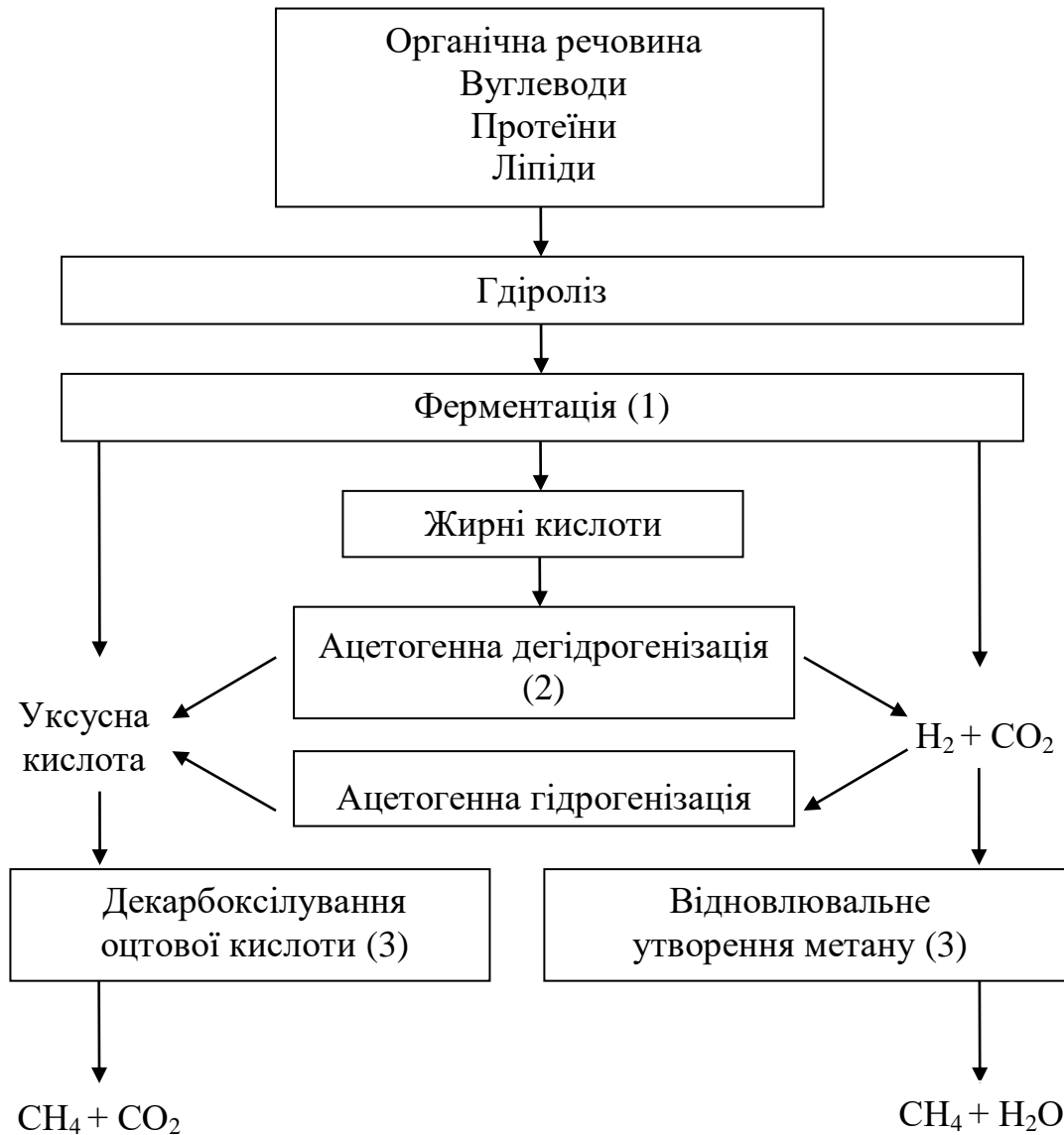
Теплотворна здатність біогазу 22–24 тис. кДж/м³, або 5500 ккал/м³. Один кубометр біогазу еквівалентний 0,6 м³ природного газу, 0,7 л мазуту, 0,4 л бензину, 3,5 кг дров [1]⁹.

Уворення біогазу — складний мікробіологічний процес, у якому органічна речовина розкладає до діоксиду вуглецю та метану в аеробних умовах. Мікробіологічному анаеробному розкладанню піддаються практично всі сполуки природного походження, а також значна частина ксенобіотиків органічної природи. В анаеробному процесі утворення біогазу виділяють три послідовні стадії, у яких беруть участь понад 190 різні мікроорганізми. Етапи протікання цього процесу наведено на малюнку 1.1[4]¹⁰.

⁸ Баадер В. Биогаз: теория и практика / В.Баадер, Е.Доне, М.Бренндерфер.— М.: Колос, 1982. — 148 с.

⁹ Василев Р.Г. Перспективы развития производства биотоплива в России // Вестник биотехнологии и физико-химической биологии им. Ю.А. Овчинникова. – 2007. – Т. 3. – № 2. – 61 с.

¹⁰ Егорова Т.А. Основы биотехнологии: Учеб. пособие для высш. пед. учеб. заведений / Т.А. Егорова, С.М. Клунова, Е.А. Живухина. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 208 с.



Біогаз - суміш газів, що утворюється при анаеробному розкладанні біомаси, і використовується як паливо.¹¹¹²¹³ До складу біогазу входить 55-70% метану, 27-44% вуглекислого газу, по 1% водню і сікководню, незначні кількості азоту, аміаку, ароматичних та галоген-ароматичних вуглеводнів.

Основним джерелом біогазу є органічні відходи: відходи тваринництва, відходи АПК, тверді побутові відходи (ТПВ) і т.д.

¹¹ Наказ від 05.04.2007р. №121 "Про затвердження Правил з технічної експлуатації полігонів твердих побутових відходів"

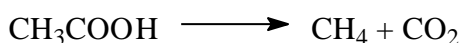
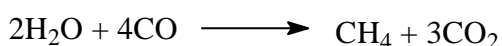
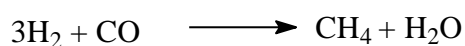
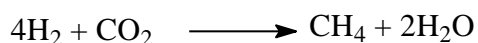
¹² Закон від 14.01.2000р. №1391-XIV "Про альтернативні види палива"

¹³ Наказ від 01.12.2010р. №435 "Про затвердження Правил експлуатації полігонів побутових відходів"

На першій стадії під впливом екстрацелюлярних ферментів зазнають ферментативному гідролізу складні полівуглецеві сполуки — білки, ліпіди і полісахариди. Разом з гідролітичними бактеріями функціонують і зброджувальні мікроорганізми, які ферментують моносахариди та органічні кислоти.

На другій стадії (ацидогенез) у процесі ферментації беруть участь дві групи мікроорганізмів: ацетогенні та гомоацитогенні. Ацидогенні H_2 -продукуючі мікроорганізми ферментують моносахариди, спирти й органічні кислоти з утворенням H_2 , CO_2 , нижчих жирних кислот, в основному ацетату, спиртів і деяких інших низькомолекулярних сполук. Деградація бутирату, пропионату, лактату з утворенням ацетату відбувається при спільній дії ацидогенних H_2 -продукуючих і H_2 -утилізуючих бактерій. Гомоацитатні мікроорганізми засвоюють H_2 і CO_2 , а також деякі одновуглецеві сполуки через стадію утворення ацетил-КоА і перетворення його в низькомолекулярні кислоти, в основному в ацетат.

На заключній третій стадії анаеробного розкладання органічних сполук утворюється метан. Він може синтезуватися через стадію відновлення CO_2 молекулярним воднем, а також з метильної групи ацетату. Деякі метанові бактерії здатні використовувати в якості субстрату форміат, CO_2 , метанол, метиламін і ароматичні сполуки:



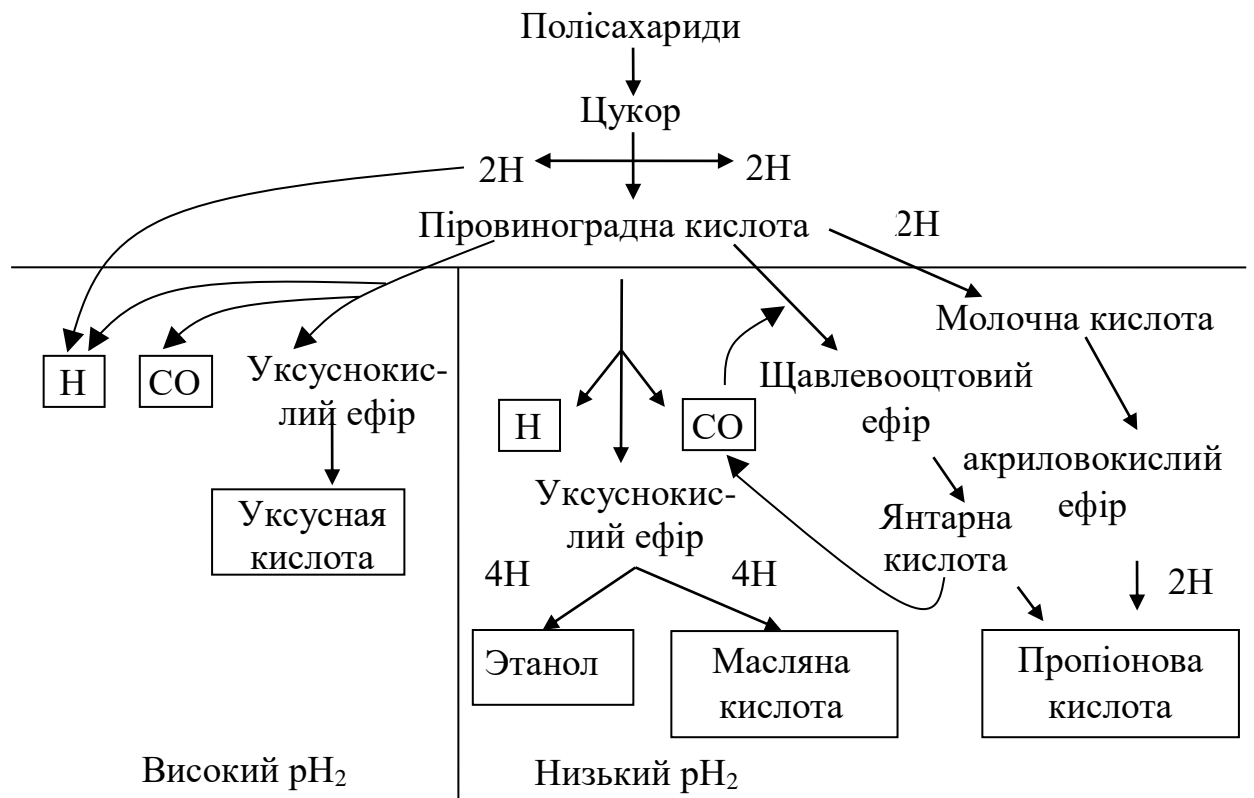
90-95% використovanого вуглецю метаногенеруючі бактерії перетворюють у метан і лише 5 — 10% вуглецю перетворюються в біомасу. У

літературі є дані про здатність метаногенеруючих бактерій в анаеробних умовах одночасно синтезувати й окисляти метан [4]¹⁴.

Ферментативні бактерії являють собою складну суміш багатьох видів бактерій, більша частина яких є облігатними анаеробними бактеріями. Наявність таких бактерій не виключає одночасно присутності значної кількості факультативних анаеробних бактерій, подібних до стрептококів і кишкових бактерій. Домінуючими організмами можуть бути анаеробні мезофіли типу *Bacteroides*, *Clostridium*, *Butyrivibrio*, *Eubacterium*, *Bifidobacterium*, *Lactobacillus* і багато інші. Ізольовані термофіли часто являють собою спороутворюючі анаеробні мікроорганізми, що належать до роду *Clostridium*, однак у вигрібних ямах екскрементів великої рогатої худоби були виявлені головним чином грамнегативні анаеробні бактерії, що не утворюють спори.

Полісахариди, подібно до целюлози, геміцелюлози, пектину й крохмалю, гідролізуються до цукрів і олігосахаридів, які потім під діями бактерій ферментуються в різні продукти (мал. 1.2).

¹⁴ Егорова Т.А. Основы биотехнологии: Учеб. пособие для высш. пед. учеб. заведений / Т.А. Егорова, С.М. Клунова, Е.А. Живухина. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 208 с.



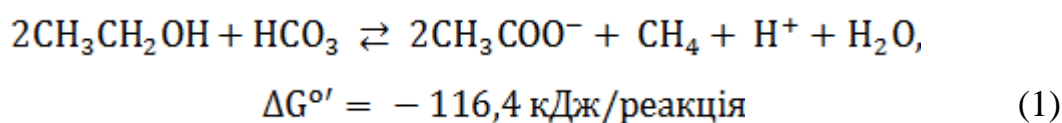
Малюнок 1.2 – Напрямок катаболізму вуглеводів і основні кінцеві продукти, що утворюються при високому й низькому парціальному тиску водню

Перша стадія ферментації полісахаридів багато в чому нагадує ферментацію складних органічних сполук у рубці й відбувається за принципом Ембдена - Мейергофа - Парнаса з утворенням електронів пірвіноградної кислоти, які відновлюються в нікотинамід-аденіндинуклеотид. Характер продуктів, що утворюються, залежить від того, наскільки глибоко відбувся катаболізм пірвіноградної кислоти. Вона може розщепитися на оцтову кислоту, CO₂ і H₂ або на пропіонову кислоту (через лактат або сукцінат), масляну кислоту або етанол. Лактат (молочна кислота) виявлений у більших кількостях в екскрементах великої рогатої худоби й у деяких умовах може відігравати важливу роль у якості проміжної речовини й субстрату. Сукцінат (бурштинова кислота) являє собою важливу позаклітинну

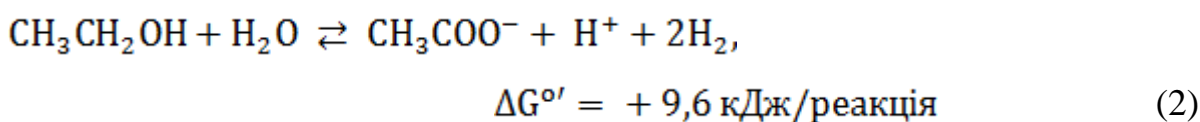
речовину. На його основі у рубцях і в мулі утворюються деякі важливі ферменти, які потім декарбоксиліруються в пропіонову й інші кислоти.

Було виділено й досліджене всього кілька видів ацетогенних бактерій, що роблять H_2 . Узяті в цілому як група, вони розщеплюють пропіонову й жирні кислоти з довгим ланцюгом, спирти і, ймовірно, ароматичні й інші органічні кислоти першого етапу ферментації, утворюючи оцтову кислоту, H_2 , а у випадку джерела енергії кислоти з непарним числом атомів вуглецю й CO_2 .

Першим доказом відмінності видів ацетогенних бактерій було виділення S-Мікроорганізмів з *Methanosarcina omelkmskii*. Спочатку передбачалося, що під дією метаногенів відбувається окиснення етанолу до оцтової кислоти й відновлення CO_2 до CH_4 :



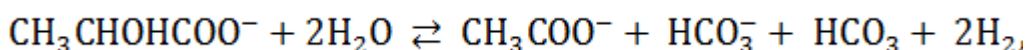
Однак згодом було встановлено, що така ферментація відбувається під дією синтрофічної спільноти двох видів бактерій: S-Мікроорганізми призводять до катаболізму етанолу до оцтової кислоти і H_2 :



а метаногени використовують H_2 , який утворюється для відновлення CO_2 у CH_4 . Утворення водню й оцтової кислоти з етанолу при використанні H_2 для відновлення CO_2 у CH_4 енергетично несприятливо: вільний H_2 затримує ріст S-Мікроорганізмів.

Штами *Desulfovibrio desulfuriccms* і *Desulfovibrio vulgaris* при вирощуванні без сульфату в присутності метаногенів, що споживають водень, утворюють його з лактату або етанолу. Лактат (молочна кислота) розщеплюється на оцтову кислоту, CO_2 і H_2 , а етанол на оцтову кислоту й H_2 .

Якщо водень, що утворюється, швидко поглинається метаногенами для утвору CH_4 , то



$$\Delta G^{\circ} = - 4,2 \text{ кДж/реакція} \quad (3)$$

Швидке споживання H_2 метаногенами викликає зрушення рівноваги цих реакцій, що сприяє утворенню й росту на цих субстратах ацетогенних бактерій. Лактат після росту *Desulfovibrio desulfuricus* у присутності *Methanosarcina barkeri*, які для утворення метану використовують як оцтову кислоту, так і H_2 , повністю розщеплюється на CO_2 і CH_4 .

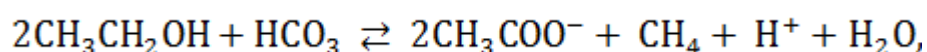
З точки зору захисту навколишнього середовища пропіонова й жирні кислоти з довгим ланцюгом представляють набагато більший інтерес як проміжні продукти анаеробної ферментації, ніж лактат або етанол. Однак види бактерій, які викликають катаболізм цих сполук, були виявлені зовсім недавно. Спочатку вважалося, що *Methanobacterium suboxydans* окисляють масляну й капронову кислоти в оцтову з утворенням CH_4 і валеріанову в оцтову й пропіонову кислоти з утворенням CH_4 . Пропіонова кислота може бути потім декарбоксілірована в оцтову кислоту з утворенням CO_2 і CH_4 під дією *Methanobacterium propionicum*. Однак у наш час вважають, що ці сполуки розщеплюються під дією ацетогенних бактерій, що виробляють H_2 , оскільки

- дотепер не були отримані чисті культури метаногенів, що розщеплюють жирні кислоти,;

- культура, що ферментує етанол *Methanosarcina omelianskii*, виявилася синтрофічним співтовариством двох видів бактерій;

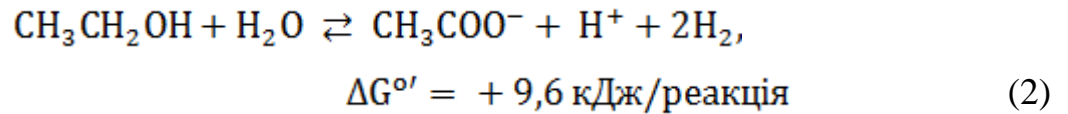
Було виділено й досліджене всього кілька видів ацетогенних бактерій, що роблять H_2 . Узяті в цілому як група, вони розщеплюють пропіонову й жирні кислоти з довгим ланцюгом, спирти і, ймовірно, ароматичні й інші органічні кислоти першого етапу ферментації, утворюючи оцтову кислоту, H_2 , а у випадку джерела енергії кислоти з непарним числом атомів вуглецю й CO_2 .

Першим доказом відмінності видів ацетогенних бактерій було виділення S-Мікроорганізмів з *Methanosarcina omelkmskii*. Спочатку передбачалося, що під дією метаногенів відбувається окиснення етанолу до оцтової кислоти й відновлення CO_2 до CH_4 :



$$\Delta G^{\circ'} = -116,4 \text{ кДж/реакція} \quad (1)$$

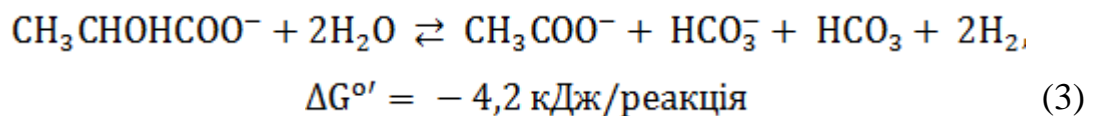
Однак згодом було встановлено, що така ферментація відбувається під дією синтрофічної спільноти двох видів бактерій: S-Мікроорганізми призводять до катаболізму етанолу до оцтової кислоти і H_2 :



а метаногени використовують H_2 , який утворюється для відновлення CO_2 у CH_4 . Утворення водню й оцтової кислоти з етанолу при використанні H_2 для відновлення CO_2 у CH_4 енергетично несприятливо: вільний H_2 затримує ріст S-Мікроорганізмів.

Штами *Desulfovibrio desulfuriccsms* і *Desulfovibrio vulgaris* при вирощуванні без сульфату в присутності метаногенів, що споживають водень, утворюють його з лактату або етанолу. Лактат (молочна кислота) розщеплюється на оцтову кислоту, CO_2 і H_2 , а етанол на оцтову кислоту й H_2 .

Якщо водень, що утворюється, швидко поглинається метаногенами для утвору CH_4 , то



Швидко споживання H_2 метаногенами викликає зрушення рівноваги цих реакцій, що сприяє утворенню й росту на цих субстратах ацетогенних бактерій. Лактат після росту *Desulfovibrio desulfuriccsms* у присутності *Methanosarcina barkeri*, які для утворення метану використовують як оцтову кислоту, так і H_2 , повністю розщеплюється на CO_2 і CH_4 .

З точки зору захисту навколишнього середовища пропіонова й жирні кислоти з довгим ланцюгом представляють набагато більший інтерес як проміжні продукти анаеробної ферментації, ніж лактат або етанол. Однак види бактерій, які викликають катаболізм цих сполук, були виявлені зовсім недавно. Спочатку вважалося, що *Methanobacterium suboxydans* окисляють масляну й капронову кислоти в оцтову з утворенням CH_4 і валеріанову в

оцтову й пропіонову кислоти з утворенням CH_4 . Пропіонова кислота може бути потім декарбоксілірована в оцтову кислоту з утворенням CO_2 і CH_4 під дією *Methanobacterium propionicum*. Однак у наш час вважають, що ці сполуки розщеплюються під дією ацетогенних бактерій, що виробляють H_2 , оскільки

- дотепер не були отримані чисті культури метаногенів, що розщеплюють жирні кислоти,;

- культура, що ферментує етанол *Methanosarcina omelianskii*, виявилася синтрофічним співтовариством двох видів бактерій;

Метаболічні властивості метаногенеруючих бактерій (строгий анаеробіоз, залежність від обмеженого набору ростових субстратів, і в першу чергу від молекулярного водню) визначають їхнє поширення в природі. Звичайними місцями проживання цих бактерій є анаеробна зона різних водойм, багатих органічними сполуками. Вони виявляються в мулових відкладаннях озер і рік, у болотах і заболочених ґрунтах, в осадових шарах морів і океанів. Метаногенеруючі бактерії — мешканці травного тракту тварин і людини, а також важливий компонент мікрофлори рубця жуйних тварин.

Тому що метаногени використовують обмежений набір субстратів, їх поширення в природі тісно пов'язане з розвитком утворюючих ці субстрати мікроорганізмів. Разом з останніми метаногенеруючі бактерії забезпечують протікання в природі важливого великомасштабного процесу — анаеробного розкладання органічних сполук, у першу чергу целюлози. Виділяють 3 основні стадії анаеробного розкладання органічної речовини. Перша — визначається діяльністю мікроорганізмів з активними гідролітичними ферментами. Вони розкладають складні органічні молекули (білки, ліпіди, полісахариди) на більш прості органічні сполуки. Друга стадія пов'язана з активністю воднегенеруючі здроджувальні мікроорганізми, кінцевими продуктами метаболізму яких є H_2 , CO_2 , CO , нижчі жирні кислоти (у першу чергу ацетат) і спирти. Завершують анаеробну деструкцію органічної речовини метаногенеруючі бактерії. Оскільки головним екологічним фактором, що

визначають розвиток метаногенів, є виділення H_2 , у природі створені й існують асоціації між воднегенеруючими і метаногенеруючими бактеріями. Прикладом такої природньої системи можуть служити бактеріальні асоціації, що живуть у рубці жуйних тварин і які забезпечують розкладання целюлози, пектину й інших органічних субстратів. Про масштабність процесів, пов'язаних з діяльністю метаногенеруючих бактерій, свідчить той факт, що більш 20% світових запасів CH_4 мають біогенне походження.

Метаногенеруючі бактерії (метаногени) — морфологічно різноманітна група, поєднувана двома загальними для всіх її представників ознаками: облигатним анаеробіозом і здатністю утворювати метан. Для створення таксономічної структури метаногенеруючих бактерій був використаний філогенетичний підхід, заснований на порівняльному аналізі нуклеотидних послідовностей 16S рРНК. Відповідно до такого підходу в IX виданні Визначника бактерій Берджі група розділена на три порядки (Methanobacteriales, Methanococcales, Methanomicrobiales), коефіцієнт подібності (SAB) для яких становить 0,2 — 0,28 (табл.1). Далі порядки розділені на 6 сімейств (SAB = 0,34–0,36) і 13 родів (SAB = 0,46–0,51). Число видів досягає більш 40. SAB для них коливається в межах 0,55–0,65. Про гетерогенність групи можна судити й по нуклеотидному складу ДНК її представників (молярний зміст Гц-основ — від 27 до 61%)[6]¹⁵.

До складу групи входять бактерії з різною морфологією: прямі або вигнуті палички різної довжини; клітини неправильної форми, близькі до коків; звивисті форми. У деяких видів спостерігається тенденція формувати нитки або пакети. Клітки нерухливі або такі, що пересуваються за допомогою перитрихіально або полярно розташованих джгутиків. У представників роду *Methanosarcina* у клітинах знайдені газові вакуолі. Для деяких метаногенів характерна розвинена система внутрішньоклітинних елементарних мембран, що є результатом розростання й впинання в цитоплазму ЦПМ і збереження із

¹⁵ Гусев М.В. Микробиология: учеб. для биол. специальностей вузов / М.В. Гусев, Л.А. Минеева.– М.: Академия, 2003.– 464 с.

нею зв'язку. У цієї групи архібактерії виявлені клітинні стінки трьох типів:, що чкалдаються із псевдомуреїну та побудовані з білкових глобул і гетерополісахаридної основи. Недавно описаний мікоплазмopodobний метаноген, виділений у рід *Methanoplasma*, що не має клітинної стінки і фільтрується через мембранні фільтри з діаметром пор 0,45 мкм.

20–30% мембранних ліпідів метаногенів представлені нейтральними і 70–80% — полярними ліпідами. Останні — це в основному два типи простих ефірів гліцерину й терпеноїдних спиртів (С 20-фітаніловий і С 40-біфітаніловий), на основі яких утворюються полярні фосфо- і гліколіпіди. Залежно від виду клітинні мембрани можуть містити обидва типи ефірів або тільки один. Основними нейтральними ліпідами є С₂₀-, С₂₅- і С 30-ациклічні ізопреноїдні вуглеводні, насичені або такі, що утворюють подвійні зв'язки. Запасних продуктів у вигляді полі-β-оксімасяної кислоти або глікогену в клітинах не виявлено.

Метаногенеруючі бактерії — строгі анаероби. Перші дослідження чистих культур, виділених з рубця жуйних тварин, показали, що ріст їх можливий при початковому окисно-відновному потенціалі середовища нижче — 300 мВ. Ріст деяких видів повністю пригнічується при вмісті в газовій фазі більш 0,004% молекулярного кисню. Останнім часом, однак, описані види з відносно низькою чутливістю до О₂. У їхніх клітинах знайдена супероксиддісмутаза. Можливо, у природі такі види можуть зберігати життєздатність при короткочасних контактах з О₂ і відновляти ріст в анаеробних умовах [6]¹⁶.

Більшість метаногенеруючих бактерій мають температурний оптимум для росту в області 30–40°C, тобто є мезофілами, але є види, у яких оптимальна зона зрушена убік більш низьких (25°C) або високих (55–65°C) температур. Недавно виділений екстремально термофільний організм *Methanothermus fervidus*, що росте при 55–97°C (оптимум 80°C). Усі відомі представники цієї групи — нейтрофіли з оптимальним рН в області 6,5-7,5. Серед метаногенів є

¹⁶ Гусев М.В. Микробиология: учеб. для биол. специальностей вузов / М.В. Гусев, Л.А. Минеева.— М.: Академия, 2003.— 464 с.

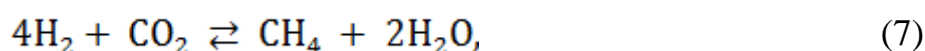
галофіли, що вимагають у якості однієї з оптимальних умов для росту вміст у середовищі до 65-70 г/л NaCl.

У якості джерела вуглецю й енергії для росту метаногени використовують вузьке коло сполук. Найбільш універсальними джерелами вуглецю й енергії для них є газова суміш H_2 і CO_2 . Більш 3/4 відомих видів утилізують $H_2 + CO_2$. Деякі метаногени пристосувалися до облігатного використання цих сполук. Наступними по поширеності джерелами вуглецю й енергії служать форміат, ацетат, метанол, метиламіни й монооксид вуглецю.

Близько половини вивчених видів не мають потреби в яких-небудь органічних сполуках. Для росту багатьох культур в атмосфері H_2 і CO_2 потрібне внесення в середовище органічних речовин, що стимулюють ріст або абсолютно для нього необхідні. Це можуть бути деякі вітаміни групи В, ацетат, піруват, сукцінат, окремі амінокислоти, дріжджовий екстракт або компоненти невідомої сполуки, що втримуються в природних середовищах проживання. Так, штами, виділені з рубця жуйних тварин, потребують додавання рубцевої рідини. Складні органічні сполуки метаногенеручі бактерії використовувати не можуть.

У якості джерела азоту метаногени використовують амонійний азот або деякі амінокислоти. Для ряду видів показана здатність до азотфіксації. Джерелом сірки можуть служити сульфати, сульфід або сірковмісні амінокислоти.

Більшість відомих метаногенів здатні рости хемолітоавтотрофно на суміші $CO_2 + H_2$ у якості єдиного джерела вуглецю й енергії. Енергію одержують, здійснюючи наступну реакцію:



Як видно із цього рівняння, CO_2 слугує не тільки єдиним джерелом вуглецю, але й кінцевим акцептором електронів при окисненні H_2 . Близько

90% використаної CO_2 відновлюється до CH_4 , що супроводжується синтезом АТФ, і тільки 10% або менше включається в речовини клітин.

Фіксація CO_2 в автотрофних метаногенів відбувається по нециклічному ацетил-КоА-шляху, що функціонує й в ацетогенних еубактерій (мал.) [6]¹⁷.

Ключовою проміжною сполукою на цього шляху є ацетил-КоА, синтезований із двох молекул CO_2 . Метильна та карбоксильна групи молекули утворюються різними шляхами. Метильна група виникає при відновленні молекули CO_2 до рівня метанолу, залишаючись при цьому завжди пов'язаною з переносником. Карбоксильна група з'являється в результаті відновлення другої молекули CO_2 до CO , каталізуючого Со-дегідрогеназою. Метильні й карбоксильні групи зв'язуються в реакціях трансметилірування й транскарбоксилірування з утворенням активованої оцтової кислоти [6]¹⁸.

Процес здійснюється при участі унікальних ферментів. З ацетил-КоА, у результаті відбудовного карбоксилірування утворюється піруват і далі фосфоенолпіровиноградна й щавелевоуксусна кислоти, які служать попередниками амінокислот і цукрів. Шляхи фіксації CO_2 ацетогенними еубактеріями й метаногенними архебактеріями різняться коферментами й деякими частковими реакціями.

Екзогенний ацетат у конструктивний метаболізм включається через ацетил-КоА й далі в серії реакцій, що функціонують у відновленому ЦТК. Замкнутості циклу перешкоджає відсутність ізоцитратдегідрогенази.

Відновлення CO_2 до CH_4 вимагає переносу 8 електронів. Проміжні продукти, що утворюються на цьому шляху, перебувають не у вільному стані, а залишаються пов'язаними з носіями. Згідно із запропонованою моделлю на першому етапі CO_2 зв'язується з носієм вуглецю, утворюючи карбоксипохідну ($\text{X}_1\text{-COOH}$), яка відновлюється до формільної ($\text{X}_1\text{-CHO}$). Другий етап метаногенезу включає перенесення формільної групи на інший носій (X_2),

¹⁷ Гусев М.В. Микробиология: учеб. для биол. специальностей вузов / М.В. Гусев, Л.А. Минеева.– М.: Академия, 2003.– 464 с.

¹⁸ Гусев М.В. Микробиология: учеб. для биол. специальностей вузов / М.В. Гусев, Л.А. Минеева.– М.: Академия, 2003.– 464 с.

який проводить C₁-групу через дві послідовні відновні реакції, що приводять до утворення метилпохідної (X₂-CH₃). На рівні утворення метиленпохідної (X₂-CH₂) у процес метаногенезу включається екзогенний формальдегід. Сполуки, що містять метильні групи (CH₃OH, CH₃COOH, CH₃NH₂ і інші метиламіни), підключаються на рівні метилпохідної. У цій же точці відбувається розгалуження анаболічних і катаболічних шляхів. Функція X₂ у метаногенів нагадує функцію тетрагідрофолатів в ацетогенних еубактерій.

На третьому кінцевому етапі метаногенезу, найбільш вивченому, метильні групи з носія надходять на кофермент M (CoM-SH). Утворюється метил-CoM. Далі слідує його відновлення, що супроводжується розпадом комплексу й виділенням CH₄. Обидві реакції каталізуються метилредуктазною системою, що являє собою складний мультиферментний комплекс, до складу якого крім ферменту входять кофермент M, фактор F₄₃₀. Для активності системи необхідні АТФ, іони Mg²⁺ і ще не ідентифіковані кофактори.

Таким чином, акцепторами електронів (а в ряді випадків і донорами, і акцепторами) у метаноеруючих бактерій є ряд одновуглецевих сполук (CO₂, CO, форміат, метанол, метильовані аміни) і єдина двовуглецева сполука — ацетат.

Механізм енергетичних процесів метаногенів ще не розшифрований, але загальні принципи положення встановлені. Відомо, що одержання енергії, при окисненні H₂, сполученому з відновленням CO₂, пов'язане з функціонуванням електронтранспортуючої системи, що включає дегідрогенази, носії електронів і редуктази.

Перенос електронів приводить до утворення трансмембранного протонного градієнту, розрядка якого за допомогою мембранної АТФ-синтази супроводжується синтезом АТФ. Доказом одержання метаногенеруючими бактеріями енергії в результаті окисного фосфорилування служить придушення в них утворення АТФ при дії роз'єднувачів і інгібіторів АТФази. Мало, однак, відомо про електронні носії. Не вивчена організація дихального ланцюга та його H⁺-ділянок перенесення.

У якості дегідрогеназ ідентифіковані гідрогеназа і форміатдегідрогеназа. Від H_2 переносення електронів каталізується пов'язаною з мембраною гідрогеназою, з якої вони акцептуються фактором F_{420} . З останнього електрони надходять на НАДФ⁺. Імовірно, і відновлений фактор F_{420} і НАДФ- H_2 служать донорами електронів для відбудовних перетворень C_1 -груп у метаногенів. Окиснення форміату також сполучене з відновленням фактора F_{420} і наступним утворенням НАДФ- H_2 [6]¹⁹.

Довгий час вважали, що в метаногенеруючих бактерій немає електронних носіїв, типових для еубактерій, що мають електронтранспортуючі ланцюги. Нещодавно в *Methanosarcina barkeri* знайдені ферредоксин Fe_3S_3 -типу й цитохроми типу *b* і *c*. Останні виявлені також в інших видів, здатних використовувати в якості енергетичних субстратів сполуки, що містять метильні групи (метанол, метильовані аміни, ацетат). У метаногенів, що ростуть тільки на середовищі, що містить суміш $H_2 + CO_2$ або форміат, цитохроми не знайдені. З хінонів виявлені β - і α -токоферохінони; менахінонів немає.

Основними компонентами біогазу є CH_4 і CO_2 , співвідношення яких залежить від використовуваного субстрату й характеристик процесу бродіння (температури, часу перебування маси в реакторі, завантаження робочого простору). Поряд із цими найважливішими компонентами біогаз містить незначні кількості H_2 і H_2S , а також N_2 .

Уворення біогазу — складний мікробіологічний процес, у якому органічна речовина розкладає до діоксиду вуглецю та метану в аеробних умовах. Мікробіологічному анаеробному розкладанню піддаються практично всі сполуки природного походження, а також значна частина ксенобіотиків органічної природи. В анаеробному процесі утворення біогазу виділяють три

¹⁹ Гусев М.В. Микробиология: учеб. для биол. специальностей вузов / М.В. Гусев, Л.А. Минеева.— М.: Академия, 2003.— 464 с.

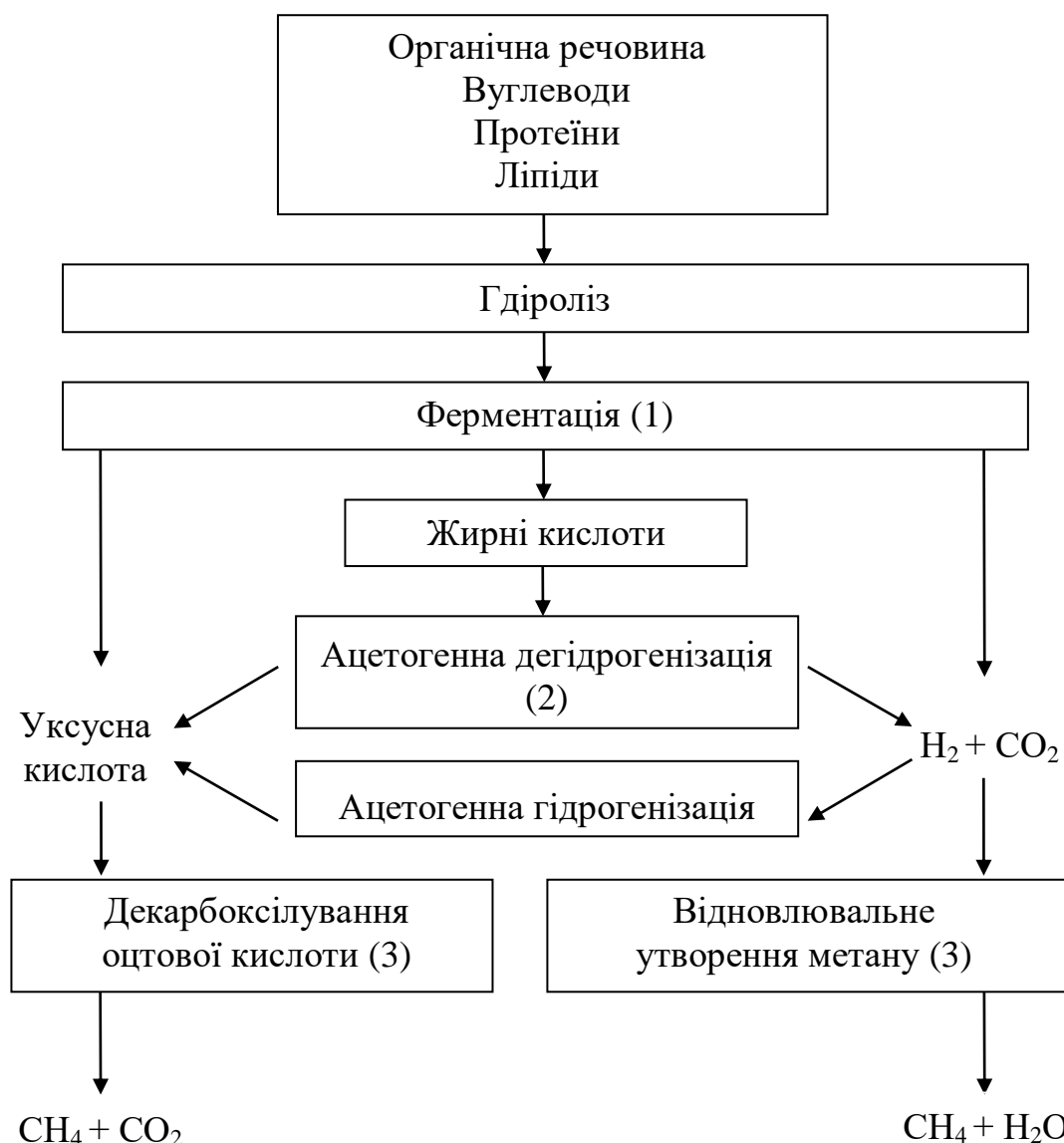
послідовні стадії, у яких беруть участь понад 190 різні мікроорганізми. Етапи протікання цього процесу наведено на малюнку 1.1[4]²⁰.

На першій стадії під впливом екстрацелюлярних ферментів зазнають ферментативному гідролізу складні полівуглецеві сполуки — білки, ліпіди і полісахариди. Разом з гідролітичними бактеріями функціонують і зброджувальні мікроорганізми, які ферментують моносахариди та органічні кислоти.

На другій стадії (ацидогенез) у процесі ферментації беруть участь дві групи мікроорганізмів: ацетогенні та гомоацитогенні. Ацидогенні H_2 -продукуючі мікроорганізми ферментують моносахариди, спирти й органічні кислоти з утворенням H_2 , CO_2 , нижчих жирних кислот, в основному ацетату, спиртів і деяких інших низькомолекулярних сполук. Деградація бутирату, пропионату, лактату з утворенням ацетату відбувається при спільній дії ацидогенних H_2 -продукуючих і H_2 -утилізуючих бактерій. Гомоацитатні мікроорганізми засвоюють H_2 і CO_2 , а також деякі одновуглецеві сполуки через стадію утворення ацетил-КоА і перетворення його в низькомолекулярні кислоти, в основному в ацетат.

На заключній третій стадії анаеробного розкладання органічних сполук утворюється метан. Він може синтезуватися через стадію відновлення CO_2 молекулярним воднем, а також з метильної групи ацетату. Деякі метанові бактерії здатні використовувати в якості субстрату форміат, CO_2 , метанол, метиламін і ароматичні сполуки.

²⁰ Егорова Т.А. Основы биотехнологии: Учеб. пособие для высш. пед. учеб. заведений / Т.А. Егорова, С.М. Клунова, Е.А. Живухина. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 208 с.



Отже, що робить комбіновані системи високоефективними і конкурентноспроможними:

Ферментативні бактерії являють собою складну суміш багатьох видів бактерій, більша частина яких є облігатними анаеробними бактеріями. Наявність таких бактерій не виключає одночасно присутності значної кількості факультативних анаеробних бактерій, подібних до стрептококів і кишкових бактерій. Домінуючими організмами можуть бути анаеробні мезофіли типу *Bacteroides*, *Clostridium*, *Butyrivibrio*, *Eubacterium*, *Bifidobacterium*, *Lactobacillus* і багато інші. Ізольовані термофіли часто являють собою спороутворюючі анаеробні мікроорганізми, що належать до роду *Clostridium*, однак у вигрібних ямах екскрементів великої рогатої худоби

були виявлені головним чином грамнегативні анаеробні бактерії, що не утворюють спори.

Полісахариди, подібно до целюлози, геміцелюлози, пектину й крохмалю, гідролізуються до цукрів і олігосахаридів, які потім під діями бактерій ферментуються в різні продукти (мал. 1.2).

Перша стадія ферментації полісахаридів багато в чому нагадує ферментацію складних органічних сполук у рубці й відбувається за принципом Ембдена - Мейергофа - Парнаса з утворенням електронів піровиноградної кислоти, які відновлюються в нікотинамід-аденіндинуклеотид. Характер продуктів, що утворюються, залежить від того, наскільки глибоко відбувся катаболізм піровиноградної кислоти. Вона може розщепитися на оцтову кислоту, CO_2 і H_2 або на пропіонову кислоту (через лактат або сукцінат), масляну кислоту або етанол. Лактат (молочна кислота) виявлений у більших кількостях в екскрементах великої рогатої худоби й у деяких умовах може відігравати важливу роль у якості проміжної речовини й субстрату. Сукцінат (бурштинова кислота) являє собою важливу позаклітинну речовину. На його основі у рубцях і в мулі утворюються деякі важливі ферменти, які потім декарбоксиліруються в пропіонову й інші кислоти.

Органічні відходи звичайно містять більшу кількість протеїну й жирів і меншу кількість вуглеводів, ніж їх міститься в їжі, яку отримують жвачні тварини. Протеїни гідролізуються в пептиди й амінокислоти, які потім ферментуються в ізомасляну, изовалеріанову, D-2-метилмасляну та н-валеріанову кислоти, у різні ароматичні кислоти: фенілуксусну, фенілпропіонову, бензойну та індоліл-уксусну, а також в аміак і сульфіді. Гліцериди, фосфоліпіди й інші жири гідролізуються з вивільненням жирних кислот з довгим ланцюгом і інших продуктів, таких, як гліцерин і галактоза, ферментація яких приводить до утворення продуктів. У процесі ферментації жирні кислоти з довгим ланцюгом не зазнають подальшого розщеплення,

однак, ненасичені жирні кислоти (ліноленова, лінолева й олеїнова) гідрогенізуються у відповідні насичені жирні кислоти [5]²¹.

Структурна схема типової комбінованої енергетичної системи з відкритим контуром на основі використання енергії вітру та сонця зображено на Рис. 1.

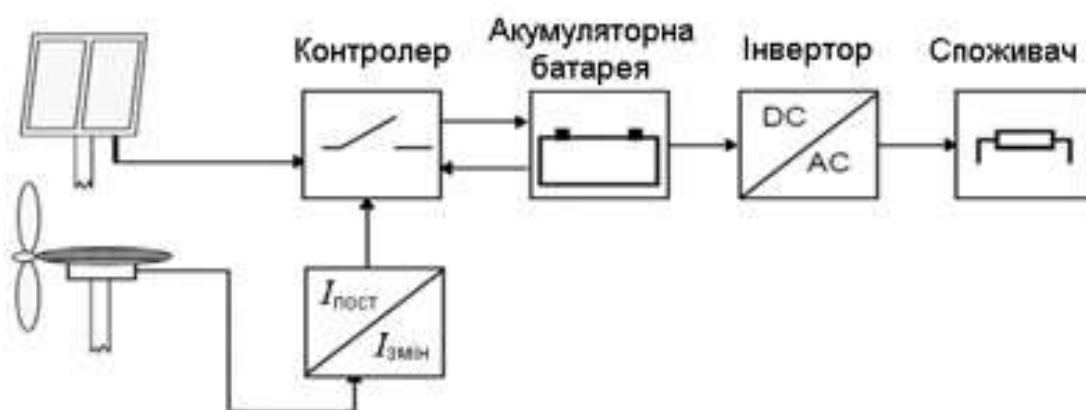


Рис. 1.

Метаболічні властивості метаногенеруючих бактерій (строгий анаеробіоз, залежність від обмеженого набору ростових субстратів, і в першу чергу від молекулярного водню) визначають їхнє поширення в природі. Звичайними місцями проживання цих бактерій є анаеробна зона різних водойм, багатих органічними сполуками. Вони виявляються в мулових відкладаннях озер і рік, у болотах і заболочених ґрунтах, в осадових шарах морів і океанів. Метаногенеруючі бактерії — мешканці травного тракту тварин і людину, а також важливий компонент мікрофлори рубця жуйних тварин.

Тому що метаногени використовують обмежений набір субстратів, їх поширення в природі тісно пов'язане з розвитком утворюючих ці субстрати мікроорганізмів. Разом з останніми метаногенеруючі бактерії забезпечують

²¹ Соуфер С. Биомасса как источник энергии: Пер. с англ. / С. Соуфер.—М.: Мир, 1985.— 368 с.

протікання в природі важливого великомасштабного процесу — анаеробного розкладання органічних сполук, у першу чергу целюлози. Виділяють 3 основні стадії анаеробного розкладання органічної речовини. Перша — визначається діяльністю мікроорганізмів з активними гідролітичними ферментами. Вони розкладають складні органічні молекули (білки, ліпіди, полісахариди) на більш прості органічні сполуки. Друга стадія пов'язана з активністю воднегенеруючі здроджувальні мікроорганізми, кінцевими продуктами метаболізму яких є H_2 , CO_2 , CO , нижчі жирні кислоти (у першу чергу ацетат) і спирти. Завершують анаеробну деструкцію органічної речовини метаногенеруючі бактерії. Оскільки головним екологічним фактором, що визначають розвиток метаногенів, є виділення H_2 , у природі створені й існують асоціації між воднегенеруючими і метаногенеруючими бактеріями. Прикладом такої природньої системи можуть служити бактеріальні асоціації, що живуть у рубці жуйних тварин і які забезпечують розкладання целюлози, пектину й інших органічних субстратів. Про масштабність процесів, пов'язаних з діяльністю метаногенеруючих бактерій, свідчить той факт, що більш 20% світових запасів CH_4 мають біогенне походження.

Метаногенеруючі бактерії (метаногени) — морфологічно різноманітна група, поєднувана двома загальними для всіх її представників ознаками: облігатним анаеробіозом і здатністю утворювати метан. Для створення таксономічної структури метаногенеруючих бактерій був використаний філогенетичний підхід, заснований на порівняльному аналізі нуклеотидних послідовностей 16S рРНК. Відповідно до такого підходу в IX виданні Визначника бактерій Берджі група розділена на три порядки (Methanobacteriales, Methanococcales, Methanomicrobiales), коефіцієнт подібності (SAB) для яких становить 0,2 — 0,28 (табл.1). Далі порядки розділені на 6 сімейств (SAB = 0,34–0,36) і 13 родів (SAB = 0,46–0,51). Число видів досягає більш 40. SAB для них коливається в межах 0,55–0,65. Про

гетерогенність групи можна судити й по нуклеотидному складу ДНК її представників (молярний зміст Гц-основ — від 27 до 61%)[6]²².

Метаболічні властивості метаногенеруючих бактерій (строгий анаеробіоз, залежність від обмеженого набору ростових субстратів, і в першу чергу від молекулярного водню) визначають їхнє поширення в природі. Звичайними місцями проживання цих бактерій є анаеробна зона різних водойм, багатих органічними сполуками. Вони виявляються в мулових відкладаннях озер і рік, у болотах і заболочених ґрунтах, в осадових шарах морів і океанів. Метаногенеруючі бактерії — мешканці травного тракту тварин і людини, а також важливий компонент мікрофлори рубця жуйних тварин.

Тому що метаногени використовують обмежений набір субстратів, їх поширення в природі тісно пов'язане з розвитком утворюючих ці субстрати мікроорганізмів. Разом з останніми метаногенеруючі бактерії забезпечують протікання в природі важливого великомасштабного процесу — анаеробного розкладання органічних сполук, у першу чергу целюлози. Виділяють 3 основні стадії анаеробного розкладання органічної речовини. Перша — визначається діяльністю мікроорганізмів з активними гідролітичними ферментами. Вони розкладають складні органічні молекули (білки, ліпіди, полісахариди) на більш прості органічні сполуки. Друга стадія пов'язана з активністю воднегенеруючі здроджувальні мікроорганізми, кінцевими продуктами метаболізму яких є H_2 , CO_2 , CO , нижчі жирні кислоти (у першу чергу ацетат) і спирти. Завершують анаеробну деструкцію органічної речовини метаногенеруючі бактерії. Оскільки головним екологічним фактором, що визначають розвиток метаногенів, є виділення H_2 , у природі створені й існують асоціації між воднегенеруючими і метаногенеруючими бактеріями. Прикладом такої природньої системи можуть служити бактеріальні асоціації, що живуть у рубці жуйних тварин і які забезпечують розкладання целюлози,

²² Гусев М.В. Микробиология: учеб. для биол. специальностей вузов / М.В. Гусев, Л.А. Минеева. — М.: Академия, 2003. — 464 с.

пектину й інших органічних субстратів. Про масштабність процесів, пов'язаних з діяльністю метаногенеруючих бактерій, свідчить той факт, що більш 20% світових запасів CH_4 мають біогенне походження.

Метаногенеруючі бактерії (метаногени) — морфологічно різноманітна група, поєднувана двома загальними для всіх її представників ознаками: облигатним анаеробіозом і здатністю утворювати метан. Для створення таксономічної структури метаногенеруючих бактерій був використаний філогенетичний підхід, заснований на порівняльному аналізі нуклеотидних послідовностей 16S рРНК. Відповідно до такого підходу в IX виданні Визначника бактерій Берджі група розділена на три порядки (Methanobacteriales, Methanococcales, Methanomicrobiales), коефіцієнт подібності (SAB) для яких становить 0,2 — 0,28 (табл.1). Далі порядки розділені на 6 сімейств (SAB = 0,34–0,36) і 13 родів (SAB = 0,46–0,51). Число видів досягає більш 40. SAB для них коливається в межах 0,55–0,65. Про гетерогенність групи можна судити й по нуклеотидному складу ДНК її представників (молярний зміст Гц-основ — від 27 до 61%)[6]²³.

Структурна схема типової комбінованої енергетичної системи на основі використання джерел сонячної та гідро енергій зображено на

Рис. 2.

²³ Гусев М.В. Микробиология: учеб. для биол. специальностей вузов / М.В. Гусев, Л.А. Минеева.– М.: Академия, 2003.– 464 с.

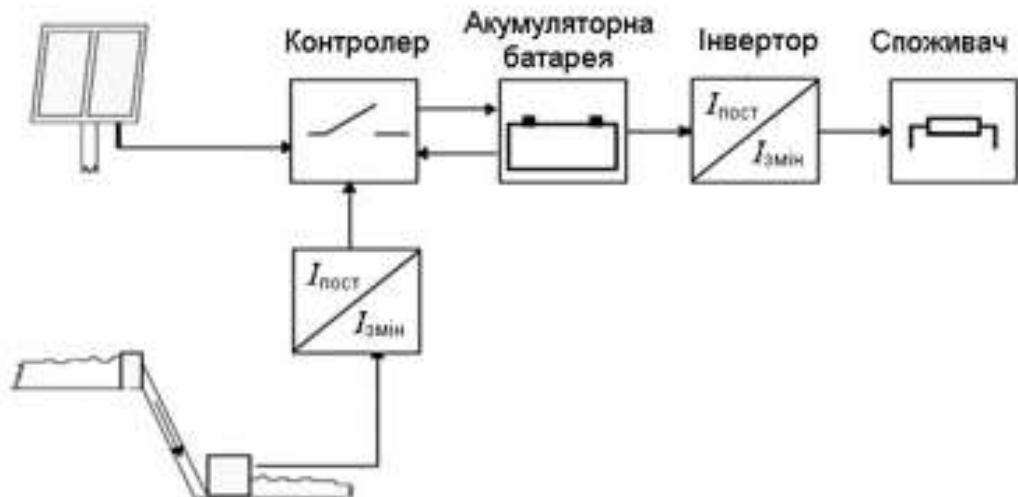


Рис. 2.

В гідроенергетиці основним джерелом енергії слугує перепад рівнів водної поверхні. Так вода переливається з верхнього в нижній б'єф по спеціальним протокам, у якій розміщені гідротурбіни. Вода розкручує лопаті турбін і таким чином механічна енергія передається на гідрогенератор, який і виробляє енергію. Місце знаходження такої системи залежить від географічних умов розташування доступних джерел води, які розміщені на достатній висоті. Гідроелектростанція здатна, за потреби, суттєво збільшити обсяг виробітку електроенергії за лічені хвилини, покриваючи пікову частину графіку навантаження. Також гідроелектростанція забезпечує надійне електропостачання в аварійних ситуаціях. Ключовою проміжною сполукою на цього шляху є ацетил-КоА, синтезований із двох молекул CO_2 . Метильна та карбоксильна групи молекули утворюються різними шляхами. Метильна група виникає при відновленні молекули CO_2 до рівня метанолу, залишаючись при цьому завжди пов'язаною з переносником. Карбоксильна група з'являється в результаті відновлення другої молекули CO_2 до CO , каталізуемого Со-дегідрогеназою. Метильні й карбоксильні групи зв'язуються в реакціях

трансметилірування й транскарбоксилірування з утворенням активованої оцтової кислоти [6]²⁴.

Процес здійснюється при участі унікальних ферментів. З ацетил-КоА, у результаті відбудовного карбоксилірування утворюється піруват і далі фосфоенолпіровиноградна й щавелевоуксусна кислоти, які служать попередниками амінокислот і цукрів. Шляхи фіксації CO₂ ацетогенними еубактеріями й метаногенними архебактеріями різняться коферментами й деякими частковими реакціями.

Екзогенний ацетат у конструктивний метаболізм включається через ацетил-КоА й далі в серії реакцій, що функціонують у відновленому ЦТК. Замкнутості циклу перешкоджає відсутність ізоцитратдегідрогенази.

Відновлення CO₂ до CH₄ вимагає переносу 8 електронів. Проміжні продукти, що утворюються на цьому шляху, перебувають не у вільному стані, а залишаються пов'язаними з носіями. Згідно із запропонованою моделлю на першому етапі CO₂ зв'язується з носієм вуглецю, утворюючи карбоксипохідну (X₁-COOH), яка відновлюється до формілопохідної (X₁-CHO). Другий етап метаногенезу включає перенесення формільної групи на інший носій (X₂), який проводить C₁-групу через дві послідовні відновні реакції, що приводять до утворення метилпохідної (X₂-CH₃). На рівні утворення метиленапохідної (X₂-CH₂) у процес метаногенезу включається екзогенний формальдегід. Сполуки, що містять метильні групи (CH₃OH, CH₃COOH, CH₃NH₂ і інші метиламіни), підключаються на рівні метилпохідної. У цій же точці відбувається розгалуження анаболічних і катаболічних шляхів. Функція X₂ у метаногенів нагадує функцію тетрагідрофолатів в ацетогенних еубактерій.

²⁴ Гусев М.В. Микробиология: учеб. для биол. специальностей вузов / М.В. Гусев, Л.А. Минеева.– М.: Академия, 2003.– 464 с.

Структурна схема типової комбінованої енергетичної системи на основі використання енергії біопалива, сонячної енергії та дизель-генератора зображено на Рис. 3.

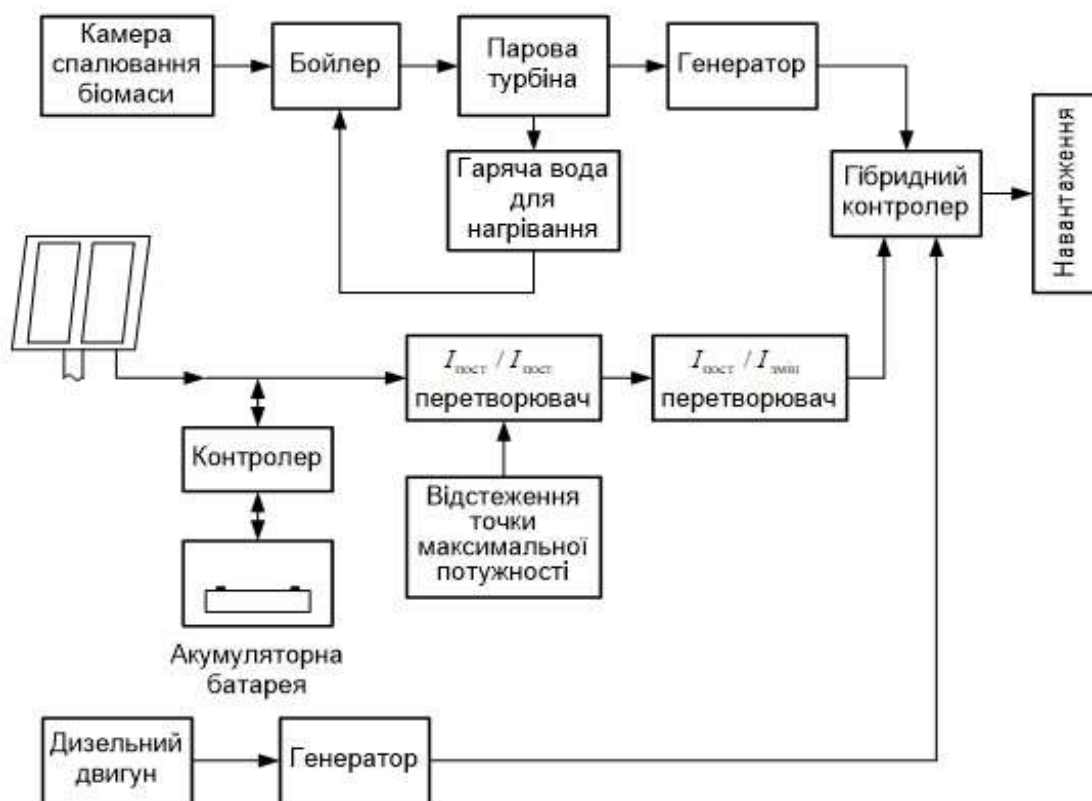


Рис. 3.

Процес здійснюється при участі унікальних ферментів. З ацетил-КоА, у результаті відбудовного карбоксилювання утворюється піруват і далі фосфоенолпіровиноградна й щавелевоуксусна кислоти, які служать попередниками амінокислот і цукрів. Шляхи фіксації CO_2 ацетогенними еубактеріями й метаногенними архебактеріями різняться коферментами й деякими частковими реакціями.

Структурна схема типової комбінованої енергетичної системи на основі використання енергії фотовольтаїки, теплової сонячної енергії

телектромережі: 1 – холодна вода; 2 – гаряча вода; Рис.

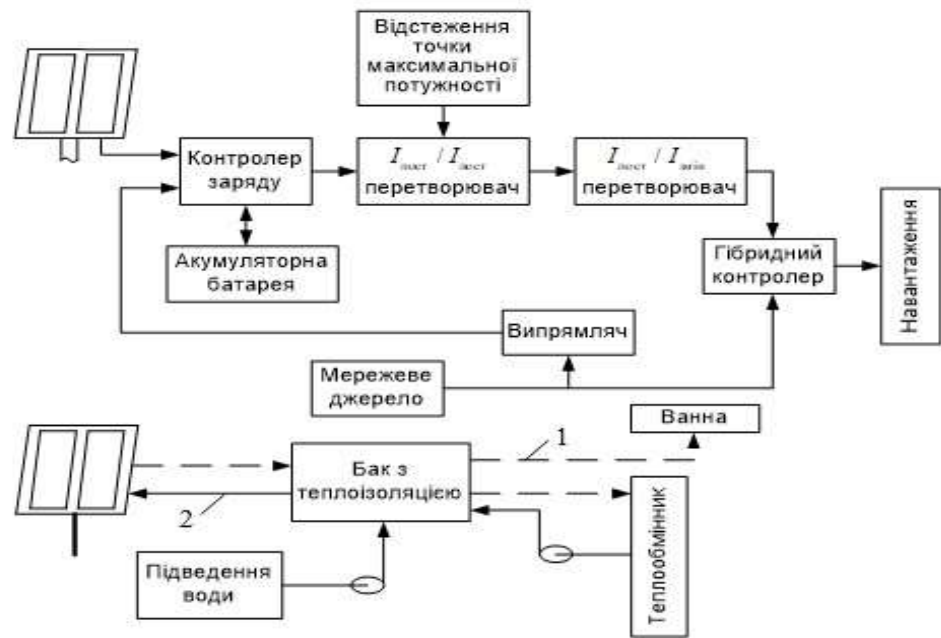


Рис.4

Екзогенний ацетат у конструктивний метаболізм включається через ацетил-КоА й далі в серії реакцій, що функціонують у відновленому ЦТК. Замкнутості циклу перешкоджає відсутність ізоцитратдегідрогенази.

Відновлення CO_2 до CH_4 вимагає переносу 8 електронів. Проміжні продукти, що утворюються на цьому шляху, перебувають не у вільному стані, а залишаються пов'язаними з носіями. Згідно із запропонованою моделлю на першому етапі CO_2 зв'язується з носієм вуглецю, утворюючи карбоксипохідну ($\text{X}_1\text{-COOH}$), яка відновлюється до формільпохідної ($\text{X}_1\text{-CHO}$). Другий етап метаногенезу включає перенесення формільної групи на інший носій (X_2), який проводить C_1 -групу через дві послідовні відновні реакції, що приводять до утворення метилпохідної ($\text{X}_2\text{-CH}_3$). На рівні утворення метилпохідної ($\text{X}_2\text{-CH}_3$) у процес метаногенезу включається екзогенний формальдегід. Сполуки, що містять метильні групи (CH_3OH , CH_3COOH , CH_3NH_2 і інші метиламіни), підключаються на рівні метилпохідної. У цій же точці

відбувається розгалуження анаболічних і катаболічних шляхів. Функція X_2 у метаногенів нагадує функцію тетрагідрофолатів в ацетогенних еубактерій.

1.3 Перспективи та загрози розвитку відновлювальних джерел енергії

Передумовою безперешкодного розмноження бактерій слугує наявність живильного середовища, яке містить як вуглець і кисень для забезпечення цього процесу енергією, водень, азот, сірку й фосфор — для утворення білку, так і лужні метали, залізо й мікроелементи.

При цьому активність мікробної реакції значною мірою визначається співвідношенням вуглецю й азоту. Найбільш сприятливі умови відповідають значенням $C/N = 10...16$.

Якщо у вихідному субстраті вуглеводів більше, ніж білкових речовин, то утворюється мало амонійного азоту. Внаслідок цього виділяється менше CH_4 і більше H_2 і CO_2 , що призводить до збільшення виходу кислот, зниженню рН і тим самим до подальшого зменшення інтенсивності метанового бродіння. З іншого боку, надлишок білку й амінокислот обумовлює зростання значення рН більше 8, що також призводить до загасання процесу метаногенерації

Кількість і склад газу, що утворюється в результаті повного розкладання органічної речовини, залежить від співвідношення $C : H : O : N$ у вихідному матеріалі та від температури процесу бродіння. З найважливіших сполук, що входять до складу органічної речовини, жири обумовлюють найбільший вихід газу з високим змістом CH_4 , білкові речовини — небагато менший, але теж з високим змістом CH_4 , і вуглеводи — відносно мало газу з найменшим змістом CH_4 .

Середній склад газу, яка можна одержати з екскрементів тварин при оптимальній температурі бродіння $34^\circ C$ відповідає співвідношенню.

Активного обміну речовин і високої швидкості біохімічних обмінних процесів можна досягти, якщо підтримувати й безупинно оновлювати

максимально можливу величину граничних поверхонь між твердою та рідкою фазами. Тому тверді матеріали, особливо рослинного походження, повинні бути попередньо підготовлені за допомогою подрібнюючого обладнання, щоб у результаті ефективного механічного впливу на шматки стебел і соломи одержати частки меншого розміру. Частка завислих у рідині твердих часток значною мірою залежить від технічних засобів, які використовуються для досягнення ретельного перемішування, гідравлічного транспортування субстрату й відділення газу. Сучасний рівень розвитку техніки дозволяє переробляти в сільськогосподарських біогазових установках субстрати зі вмістом твердих речовин до 12%, якщо розміри часток окремих волокнистих і стеблевидних твердих компонентів не перевищує 30 мм.

У принципі органічні речовини можна зброджувати і у твердій фазі, якщо мати досить вологе середовище. Однак зброджування твердих речовин практично не отримало промислового застосування, оскільки у твердій фазі не можна забезпечити перерозподіл і взаємне перемішування бактерій і субстрату, а також задовільний відвід газу.

Тверді речовини, щільність яких суттєво вище, ніж рідини, обумовлюють утворення осаду (седиментацію) або плаваючої кірки, чому сприяє флотація. Виникаючі у зв'язку із цим механіко-гідравлічні проблеми й погіршення процесу газоутворення можуть призвести до того, що для усунення подібних порушень будуть потрібні більш високі витрати технічних засобів і енергії. Ці труднощі можна виключити, якщо згадані речовини перед подачею в реактор відокремити від субстрату за допомогою механічного сепаратора. Однак це приводить до відповідного до зменшення виходу газу [2]²⁵.

Впровадження технології переробки бурякового жому шляхом метанування, являється не складним, з технологічної точки зору, процесом і не буде вимагати значних перепланувань підприємства та закупки дорогого обладнання, хоча й потребує деякої території для розташування. Також при

²⁵ Баадер В. Биогаз: теория и практика / В.Баадер, Е.Доне, М.Бренндерфер.— М.: Колос, 1982. — 148 с.

метануванні жому на цукровому заводі можна додавати бурякове листя, хвостики та меласу, які в певній кількості завжди присутні на підприємстві і підлягають утилізації. Додавання цих відходів позитивно вплине на вихід біогазу, тому що вони мають більший, в порівнянні з жомом, енергетичний потенціал (з 1 тонни бадилля буряків і меласи можна отримати 200 та 430 м³ біогазу відповідно). Біогазова установка буде працювати в комплексі з іншим обладнанням заводу і безперервно буде отримувати жом після основного технологічного процесу.

Відновлювальні джерела енергії та пандемія. Які цілі ставить собі Європа у розвитку ВДЕ?

Звичайно, провідну роль в енергетичному балансі Європи відіграють відновлювальні джерела енергії. Пощастило, що вони постраждали менше від пандемії COVID-19, ніж інші джерела енергії.

Окремі випадки використання примітивних біогазових технологій були зафіксовані в Китаї, Індії, Ассирії та Персії починаючи з XVII століття до нашої ери. Проте систематичні наукові дослідження біогазу почалися тільки в XVIII столітті нашої ери, через майже 3,5 тисячі років.

У 1764 році Бенджамін Франклін у своєму листі Джозефу Прістлі описав експеримент, в ході якого він зміг підпалити поверхню дрібного заболоченого озера в Нью Джерсі, США.

Перше наукове обґрунтування утворення займистих газів в болотах і озерних відкладеннях дав Олександр Вольта в 1776 р, встановивши наявність метану в болотному газі. Після відкриття хімічної формули метану Дальтоном в 1804 році, європейськими вченими були зроблені перші кроки в дослідженнях практичного застосування біогазу.

Свій внесок у вивчення утворення біогазу внесли і російські вчені. Вплив температури на кількість газу, що виділяється вивчив Попов в 1875 році. Він з'ясував, що річкові відкладення починають виділяти біогаз при температурі

близько 6 °С. Зі збільшенням температури до 50 °С, кількість газу, що виділяється значно збільшувалася, не змінюючись за складом - 65% метану: 30% вуглекислого газу, 1% сірководню і незначна кількість азоту, кисню, водню і окислу вуглецю. В.Л. Омелянский детально дослідив природу анаеробного бродіння і бактерій, беруть у ньому участь.

Незабаром після цього, в 1881 році, почалися дослідження європейських учених з використання біогазу для обігріву приміщень і освітлення вулиць. Починаючи з 1895 року, вуличні ліхтарі в одному з районів міста Ексетер забезпечувалися газом, який виходив в результаті бродіння стічних вод і збирався в закриті ємності. Через два роки після цього з'явилося повідомлення про отримання біогазу в Бомбеї, де газ збирався в колектор і використовувався в якості моторного палива в різних двигунах.

На початку ХХ століття були продовжені дослідження в галузі підвищення кількості біогазу шляхом збільшення температури бродіння. Німецькі вчені Імхофф і Бланк в 1914-1921 рр., запатентували ряд нововведень, які полягали у введенні постійного підігріву ємностей. У період Першої світової війни почалося поширення біогазових установок по Європі, пов'язане з дефіцитом палива. Господарства, де були такі установки, знаходилися в більш сприятливих умовах, хоча установки були ще недосконалі і в них використовувалися далеко не оптимальні режими.

Одним з найважливіших наукових кроків в історії розвитку біогазових технологій є успішні експерименти Бусвелла по комбінуванню різних видів органічних відходів з гноєм в якості сировини в 30-х роках ХХ століття.

Перший великомасштабний завод з виробництва біогазу був побудований в 1911 році в англійському місті Бірмінгем і використовувався для знезараження осаду стічних вод цього міста, що вироблявся використовувався для виробництва електроенергії. Таким чином, англійські вчені є піонерами практичного застосування нової технології. Вже до 1920 року вони розробили кілька типів установок для переробки стічних вод. Перша біогазова установка

для переробки твердих відходів з об'ємом реактора 10 м³ була розроблена Німаном і Дюселей і побудована в Алжирі в 1938 році.

У роки Другої світової війни, коли енергоносіїв катастрофічно не вистачало, у Німеччині та Франції був зроблений акцент на отримання біогазу з відходів сільськогосподарського виробництва, головним чином з гною тварин. У Франції до середини 40-х років експлуатувалося близько 2 тисяч біогазових установок для переробки гною. Цілком природно, цей досвід поширювався на сусідні країни. В Угорщині також існували установки для виробництва біогазу. Це відзначають солдати Радянської Армії в основному, вихідці з сільських районів СРСР, які визволяли Угорщину від німецьких військ і дивуються, що в селянських господарствах гній худоби не лежав у купах, а завантажувався у закриті ємності, звідки отримували горючий газ.

Європейські установки довоєнного періоду не витримали конкуренції в післявоєнний час з боку дешевих енергоносіїв (рідке паливо, природний газ, електроенергія) і були демонтовані. Новим імпульсом для їх розвитку на новій основі стала енергетична криза 70-х років, коли почалося стихійне впровадження біогазових установок в країнах південно-східної Азії. Висока щільність населення й інтенсивне використання усіх придатних для обробітку сільськогосподарських культур площ землі, а також досить теплий клімат, необхідний для використання біогазових установок в найпростішому варіанті - без штучного підігріву сировини, лягли в основу різних національних і міжнародних програм з впровадження біогазових технологій.

Сьогодні біогазові технології стали стандартом очищення стічних вод та перероблення сільськогосподарських та твердих побутових відходів і використовуються в більшості країн світу.

Досвід розвинутих країн

У більшості розвинених країн переробка органічних відходів в біогазових установках частіше використовується для виробництва теплової енергії та електроенергії. Вироблена таким чином енергія становить близько 3-4% всієї споживаної енергії в європейських країнах. У Фінляндії, Швеції та Австрії, які

заохочують використання енергії біомаси на державному рівні, частка енергії біомаси сягає 15-20% від всієї споживаної енергії.

Використання електроенергії та тепла, виробленого за допомогою анаеробної переробки біомаси, в Європі зосереджено, в основному в Австрії, Фінляндії, Німеччини, Данії і Великобританії. У Німеччині на даний момент налічується близько 2000 великих установок анаеробного зброджування. Кількість біогазових установок з обсягами реакторів більше 2000 м³ кожна в Австрії складає в даний час більше 120, близько 25 установок знаходяться в стадії планування та спорудження.

Високий ступінь розвитку ринку біогазових технологій може бути застосований при очищенні муніципальній стічних вод, очищенні індустріальних стічних вод та утилізації сільськогосподарських відходів. У Швеції енергія біомаси надає 50% необхідної теплової енергії, а в Англії, на батьківщині першого промислового біогазового реактора, за допомогою біогазу ще в 1990 р вдалося покрити всі енерговитрати в сільському господарстві У Лондоні діє один з найбільших у світі комплексів з очищення комунальних стічних вод з виробництвом біогазу.

У 30-ті роки досвід Європи був перенесений в США. Біогазова установка з переробки тваринницьких відходів була побудована в 1939 році і успішно працювала протягом більш ніж 30 років. У 1954 р був побудований перший завод з переробки комунальних відходів з отриманням біогазу в Форт-Доджі, штат Айова, На якій біогаз подавався на двигун внутрішнього згоряння для вироблення електроенергії при потужності електрогенератора 175 кВт. Зараз у США налічується кілька сотень великих біогазових установок, що переробляють відходи тваринництва і тисячі установок, утилізують міські стічні води. Біогаз використовується в основному для отримання електроенергії та опалення будинків і теплиць.

Збільшуються викиди парникових газів, підвищується рівень споживання води та її забруднення, знижується родючість земель, неефективна утилізація відходів і зростаючі проблеми з вирубкою лісів є частинами нестійкою

системи використання природних ресурсів по всьому світу Біогазові технології є одним з важливих компонентів в ланцюзі заходів по боротьбі з вищевказаними проблемами. Прогноз зростання вкладу біомаси як джерела відновлюваної енергії в світі передбачає досягнення 23,8% від загального споживання енергії до 2040 року, а до 2010-го країнами ЄС вже було досягнуто рівню в 12%.

Досвід країн, що розвиваються

Частка енергії, яку отримують з біомаси в країнах, що розвиваються, складає близько 30-40% від всієї споживаної енергії, а в деяких країнах (в основному в Африці) досягає 90%.

Серед країн, що розвиваються поширене виробництво енергії та тепла за допомогою переробки відходів на невеликих біогазових установках. Близько 16 мільйонів господарств по всьому світу використовують енергію для освітлення, обігріву та приготування їжі, вироблену в біогазових установках. Це включає 12 мільйонів господарств у Китаї, 3,7 мільйона господарств в Індії та 140 тисяч господарств в Непалі.

Історія сучасного широкомасштабного використання біогазових установок в Китаї налічує більше 50 років. Перші біогазові установки були побудовані в 40-х роках ХХ століття заможними сім'ями. З початку 70-х років дослідницька робота і біогазові технології були серйозно підтримані урядом Китаю.

У сільських районах Китаю в даний час більше 50 мільйонів чоловік користуються біогазом в якості палива. Типова біогазова установка має об'єм реактора близько 6-8 м³ та виробляє 300 м³ біогазу на рік, працюючи щорічно від 3 до 8 місяців, і коштує близько \$ 200-250, залежно від провінції. Більшість установок дуже прості і після певного навчання фермери будують і експлуатують установки самостійно. З 2002 року уряд Китаю виділяє щорічно близько 200 мільйонів доларів на підтримку будівництва біогазових установок. Дотація на кожен установку дорівнює приблизно 50% її середньої

вартості. Таким чином, уряд домогся річного зростання кількості біогазових установок до 1 мільйона в рік. На індустріальній основі в Китаї працюють

кілька тисяч середніх і великих установок і планується збільшення їх кількості.

В Індії розвиток простих біогазових установок для сільських садіб почалося в 50-х роках ХХ століття, хоча ще в 1859 році в Бомбеї була побудована перша біогазова установка на базі колонії хворих на проказу для переробки твердих і рідких відходів.

Значне збільшення числа біогазових установок, забезпечене урядовою підтримкою, спостерігалось в 70-х роках. На сьогоднішній день в Індії працює близько 3,7 мільйона біогазових установок. Міністерство нетрадиційних джерел енергії Індії займалося впровадженням біогазових установок з 1980 року і надавало субсидії та фінансування для будівництва та експлуатації біогазових установок, навчання фермерів, відкриття і роботи сервісних центрів.

У Непалі програма підтримки біогазових технологій надає технічну експертизу, фінансування і будівництво біогазових установок для господарств з об'ємом реакторів 4-20 м³, особливо популярні установки об'ємом 6 м³. Окрім надання енергії та добрив, в Непалі було помічено зменшення важкості жіночої праці за рахунок скорочення часу на збір дров, а також збільшення річних заощаджень від заміни 25 літрів гасу на господарство біогазом і річних заощаджень від заміни 3 тонн дров та вугілля.

Під час реалізації програми виникли і розвинулися 60 приватних фірм-виробників установок, близько 100 організацій мікро-фінансування надавали кошти на будівництво установок, були прийняті стандарти якості установок і створена постійна організація з розвитку ринку біогазових технологій.

Газифікація та виробництво теплової енергії на біогазових установках є зростаючою галуззю в багатьох країнах, що розвиваються. На Філіппінах біогазові установки виробляють газ для роботи моторів, які мелють рис і працюють на іригацію з 80-х років. Використання біогазу маленькими

комерційними компаніями в Індії, Індонезії, Шрі-Ланці (наприклад, у текстильній індустрії або для просушування спецій, цегли, гуми) окупалося менш ніж за сезон.

Використання біогазових технологій для утилізації стічних вод широко використовується в Азії (особливо в Індії) і Латинській Америці. Сільськогосподарські біогазові установки широко впроваджуються в країнах, що розвиваються і поширюються для виробництва енергії, добрив та вирішення екологічних проблем, пов'язаних із забрудненням вод гнойовими стоками.

1.4 Використання енергетичних ресурсів в секторі міського господарства

Міста, як і країни, теж значно відрізняються одне від одного: за географічним розташуванням, рівнем розвитку промисловості, величиною, транспортною системою, тощо. Відповідно й різні способи скорочення споживання енергоресурсів, в тому чи іншому секторі.

Довгий час вважали, що в метаногенеруючих бактерій немає електронних носіїв, типових для еубактерій, що мають електронтранспортуючі ланцюги. Нещодавно в *Methanosarcina barkeri* знайдені ферредоксин Fe_3S_3 -типу й цитохроми типу *b* і *c*. Останні виявлені також в інших видів, здатних використовувати в якості енергетичних субстратів сполуки, що містять метильні групи (метанол, метильовані аміни, ацетат). У метаногенів, що ростуть тільки на середовищі, що містить суміш $H_2 + CO_2$ або форміат, цитохроми не знайдені. З хінонів виявлені β - і α -токоферохінони; менахінонів немає.

Термінальні етапи катализуються відповідними редуктазами, з яких найбільш вивчена метилредуктазна система. Реакція, що каталізується метилредуктазою, є загальною при утворенні метану з різних субстратів (CO_2 , CO, метанол, ацетат), і саме з нею зв'язане одержання клітиною енергії.

Фермент локалізований у мембрані, і його функціонування приводить до трансмембранного переміщення протонів. На 1 молекулу утвореного метану припадають 4 трансфікованих H^+ .

Відкрита здатність метаногенеруючих бактерій використовувати як кінцевого акцептора електронів замість CO_2 молекулярну сірку. У присутності S і звичайних енергетичних субстратів (H_2 або метанол) спостерігається утворення значної кількості H_2S при одночасному зниженні в 2–10 раз синтезу CH_4 .

Таким чином, метаногенеруючі бактерії здатні здійснювати енергетичний метаболізм хемоліто- або хемоорганотрофного типу, поєднуючи його з конструктивним обміном авто- або гетеротрофного типу [6]²⁶.

Якщо віднести вихід газу, можливий при температурі процесу близько $32^\circ C$, до кількості органічної маси, що розклалася, то відповідні значення будуть лежати в межах $V_{озаг} = 0,8...1,0$ м³ на 1 кг органічної маси, що розклалася.

А вихід газу, віднесений до одиниці органічної маси, що подається в реактор, буде перебувати в інтервалі $V_{заг} = 0,4...0,6$ м³ на 1 кг внесеної у реактор органічної маси. Таким чином, залежно від частини, що здатна до зброджування органічної маси в реакторі розкладається лише 40...50 % усієї органічної маси, що потрапляє в нього.

Співвідношення кількостей газу, які можуть бути виділені з органічної речовини рідкого гною дійних корів (Д), бичків на відгодівлі (Б), свиней (С) і курей (К) у процесі бродіння при температурі $33^\circ C$, у першому наближенні можна прийняти рівним $Д : Б : С : К = 5:7:8:10$.

Для виділення певної кількості газу з різних органічних матеріалів потрібно специфічна для кожного з них тривалість процесу бродіння, причому вихід газу в одиницю часу спочатку різко збільшується, а потім по

²⁶ Гусев М.В. Микробиология: учеб. для биол. специальностей вузов / М.В. Гусев, Л.А. Минеева.– М.: Академия, 2003.– 464 с.

досягненню максимуму поступово зменшується. Отримані при цьому сумарні криві для типових об'єктів метанового бродіння представлено на малюнку 5.

Метаболічна активність і репродуктивна здатність мікроорганізмів перебувають у функціональній залежності від температури. Таким чином, температура впливає на об'єм газу, який можна одержати з певної кількості органічної речовини протягом заданого часу, а також на технологічний час процесу бродіння, необхідний для вивільнення певної кількості газу при відповідній температурі (мал.1.6).

У численних більш ранніх роботах названо дві температурні межі (близько 33 і 54°C), яким відповідають найвищі значення метаболічної активності. Переривчастий характер протікання функції пояснюється заміною мезофільного штаму бактерій на термофільний. Однак, згідно з новітніми дослідженнями, така переривчастість не існує, а це означає, що з підвищенням температури приблизно до 54 °C умови для утворення газу поліпшуються. Мікробіологічна активність майже припиняється, якщо температура падає приблизно до 15°C. До перепадів температури, особливо до її раптових знижень, мікроорганізми досить чутливі й реагують на це зниженням метаболічної активності й здатності до відтворення [2]²⁷.

Передумовою безперешкодного розмноження бактерій слугує наявність живильного середовища, яке містить як вуглець і кисень для забезпечення цього процесу енергією, водень, азот, сірку й фосфор — для утворення білку, так і лужні метали, залізо й мікроелементи.

При цьому активність мікробної реакції значною мірою визначається співвідношенням вуглецю й азоту. Найбільш сприятливі умови відповідають значенням C/N = 10...16.

Якщо у вихідному субстраті вуглеводів більше, ніж білкових речовин, то утворюється мало амонійного азоту. Внаслідок цього виділяється менше CH₄ і більше H₂ і CO₂, що призводить до збільшення виходу кислот, зниженню рН і тим самим до подальшого зменшення інтенсивності метанового бродіння. З

²⁷ Баадер В. Биогаз: теория и практика / В.Баадер, Е.Доне, М.Бренндерфер.— М.: Колос, 1982. — 148 с.

іншого боку, надлишок білку й амінокислот обумовлює зростання значення рН більше 8, що також призводить до загасання процесу метаногенерації .

Кількість і склад газу, що утворюється в результаті повного розкладання органічної речовини, залежить від співвідношення С : Н : О : N у вихідному матеріалі та від температури процесу бродіння. З найважливіших сполук, що входять до складу органічної речовини, жири обумовлюють найбільший вихід газу з високим змістом CH_4 , білкові речовини — небагато менший, але теж з високим змістом CH_4 , і вуглеводи — відносно мало газу з найменшим змістом CH_4

Серед залишків і відходів сільськогосподарського виробництва найбільш багатими та необхідними для метанового бродіння живильними речовинами є екскременти тварин. Однак вони дуже різняться між собою як по наявності окремих компонентів (таб. 3), так і по хімічному складу залежно від того, про який вид тварин йде мова і який корм ці тварини споживають (табл. 1.4).

. Крім того, відходи тваринництва залежно від способу тримання тварин можуть містити в собі різні кількості води, підстилкового матеріалу й залишків корму.

Для збродження рослинних матеріалів з високим змістом здатних до розкладання сполук вуглецю необхідне додавання багатих азотом речовин, наприклад курячого посліду або свинячого гною, щоб одержати співвідношення C/N у межах, необхідних д

ля безперешкодного протікання процесу бродіння [2]²⁸.

Середній склад газу, яка можна одержати з екскрементів тварин при оптимальній температурі бродіння 34°C відповідає співвідношенню її.

Активного обміну речовин і високої швидкості біохімічних обмінних процесів можна досягти, якщо підтримувати й безупинно оновлювати максимально можливу величину граничних поверхонь між твердою та рідкою фазами. Тому тверді матеріали, особливо рослинного походження, повинні

²⁸ Баадер В. Биогаз: теория и практика / В.Баадер, Е.Доне, М.Бренндерфер.— М.: Колос, 1982. — 148 с.

бути попередньо підготовлені за допомогою подрібнюючого обладнання, щоб у результаті ефективного механічного впливу на шматки стебел і соломи одержати частки меншого розміру. Частка завислих у рідині твердих часток значною мірою залежить від технічних засобів, які використовуються для досягнення ретельного перемішування, гідравлічного транспортування субстрату й відділення газу. Сучасний рівень розвитку техніки дозволяє переробляти в сільськогосподарських біогазових установках субстрати зі вмістом твердих речовин до 12%, якщо розміри часток окремих волокнистих і стеблевидних твердих компонентів не перевищує 30 мм.

В СРСР наукові основи метанового бродіння досліджувалися починаючи з 40-х років ХХ століття. Протягом існування СРСР в теоретичних дослідженнях брали участь інститути системи Академії наук, а прикладні дослідження проводилися в Академії комунального господарства ім. Памфілова і дослідних і проектних інститутах сільськогосподарського напрямку, таких як: Всесоюзний інститут електрифікації сільського господарства (ВІЕСГ), Український науково-дослідний і проектний інститут агропромислового комплексу (УкрНДГіпросельгосп) та інших.

Застосування технології метанового зброджування до сільськогосподарських відходів в СРСР було розпочато Г.Д. Ананіашвілі в 1948 р в Тбіліському філії ВІЕСХ, згодом огрядний І МЕСХ (Гіме). Там в 1948-1954 рр. була розроблена і побудована перша в СРСР лабораторна і виробнича біоенергетична установка. Виробничий варіант установки був розрахований на утилізацію гною від десяти корів. Переробка проводилася при мезофільному режимі (32-34 ° С). Установка забезпечувала питомий вихід 1 м³ газу з 1 м³ реактора. На основі цього досвіду в популярній літературі ("Юний технік". 1959 № 6) з'явилося одне з перших повідомлень, популяризує біогазову технологію, з рекомендаціями щодо її реалізації в умовах приватного господарства. Однак технологія не набула широкого поширення внаслідок дешевизни енергоресурсів і відсутності великих тваринницьких господарств.

У середині 70-х років, з настанням світової енергетичної кризи, керівництво СРСР вирішило проводити в країні політику енергозбереження. Крім того, в сільському господарстві стали застосовуватися інтенсивні технології, було створено багато великих тваринницьких комплексів, які зіткнулися з проблемою утилізації гнойових стоків. У зв'язку з цим інтерес до біогазовим технологій зріс, і в 1981 р при Держкомітеті з науки і техніки СРСР

була створена спеціалізована секція за програмою розвитку біогазової галузі промисловості. Пропозиції щодо розвитку мікробіологічної анаеробної технології увійшли в директивні документи СРСР, але не були забезпечені належними грошовими і матеріальними ресурсами, багато з запланованих заходів щодо освоєння технології анаеробної переробки біомаси залишилися невиконаними.

Заходи зі збереження енергії при реалізації, генерації та транспортуванні теплової енергії

Незважаючи на це, не можна назвати період 70-х - початок 90-х років безрезультатним. За цей час була створена наукова основа технологій мікробіологічної анаеробної переробки біомаси. Було побудовано кілька дослідних установок, одна з яких - у радгоспі "Огре" Латвійської РСР (1982, 75 м³). Це були установки дослідного характеру, на яких відпрацьовувався процес переробки біомаси.

Найбільшим центром з розробки конструкцій вітчизняних біогазових установок (а також інших машин для переробки відходів аграрного виробництва) був Запорізький конструкторсько-технологічний інститут сільськогосподарського машинобудування (КТІСМ). Зібрані вченими дані лягли в основу створення декількох лабораторних та дослідних установок, проте до державних приймальних випробувань була допущена лише одна конструкція КТІСМ - КОБОС-1.

Установка КОБОС-1 була успішно випробувана на базі дослідної молочної ферми-лабораторії і схвалена для серійного випуску на заводі в м Шуміха Курганської області (Північний Урал). Вона будувалася за програмою освоєння технології анаеробної переробки відходів як варіант серійних установок для тваринницьких господарств середньої величини - молочно-товарних ферм на 400 голів молочних корів або дрібних свинарських господарств на 4000 свиней.

Завод випустив 10 комплектів обладнання, однак після розпаду СРСР фінансування припинилося. З десяти випущених установок три були розподілені на Україні і в Білорусії, п'ять - відправлені в Середню Азію (дві з яких у Киргизстан), дві в Росію. Але впроваджена була тільки одна з них на

фермі великої рогатої худоби в Кам'янецькому районі Брестської області Білорусі. Установа переробляє 50 м³ гною і виробляє 400-500 м³ біогазу на добу.

Одна з цих установок потрапила в Киргизстан і була переобладнана ОФ "Флюїд" асоціації "Фермер" і встановлена на базі свинокомплексу ТзОВ "БЕКПР" на 4000 голів у селі Лебедіновка Чуйської області в 2003 році, інша використовується як водозбірник в приватному господарстві Ошської області.

Проекти з впровадження альтернативних та відновлювальних джерел енергії

В даний час в країнах СНД зріс інтерес до отримання енергії і біодобрив шляхом переробки сільськогосподарських відходів. Цьому сприяють висока вартість енергоресурсів і добрив, а також стан навколишнього середовища, що постійно погіршується. Однак через низьку інформованість фермерів про практичні шляхи впровадження біогазових технологій, а також високу початковою вартістю біогазових установок, загальне число біогазових установок, у країнах СНД не перевищує декількох сотень.

Гідравлічні системи, що перемішують. Гідравлічне перемішування – перемішування, при якому здійснюється перекачування сировини з однієї зони апарата в іншу²⁹. Використання гідравлічних систем перемішування обмежується вільнотекучими субстратами.

Пневматичне перемішування. Існують способи пневматичного перемішування, коли частина виробленого біогазу відкачується з реактора, стискується компресором і нагнітається в апарат. Газ може нагнітатися через дно, бічну стінку або купол. Сідиганов Ю.Н., Шамшуров Д.Н., Костромин Д.Н. провели ряд досліджень на тему підвищення якості перемішування,

²⁹ ГОСТ Р 53790-2010. Нетрадиционные технологии. Возобновляемые источники энергии. Основные положения. – Введ. 2011-01-01. - М. : Стандартинформ, 2010. – 16 с.

нагнітаючи в рідкий субстрат біогаз^{30,31} Ермоловим Н.А. було запропоновано використовувати для перемішування витягнутий з біогазу діоксид вуглецю.³²

4.4. Для забезпечення більш високого рівню виробництва біогазу та біодобрих, а також кращого знезаражування сировини використовуються два методи підігріву:

прямий підігрів у формі пари або, підігрів через протиточний теплообмінник. Теплообмінники можуть бути як вбудовані, так і виносні, а також у вигляді парової сорочки в стінках біореактора. Найпоширенішою системою підігріву сировини є зовнішня система підігріву з водонагрівальним котлом, що працює на біогазі, електриці або твердому паливі. У якості нагрівальних елементів застосовують теплообмінники у вигляді змійовиків, секцій радіаторів, паралельно зварених труб, де теплоносієм служить гаряча вода з температурою близько 60 °С.

Для роботи біогазових установок на Курьяновских очисних спорудах (МГУП «Мосводоканал») використовуються теплообмінники типу «труба в трубі»³³. Широке поширення одержали спіральні теплообмінники фірми «Альфа-Лаваль» (Швеція)³⁴.

³⁰ Сидыганов, Ю. Н. Барботажное перемешивание в биореакторах анаэробного сбраживания / Ю. Н. Сидыганов, Д. Н. Шамшуров, Д. В. Костромин // Национальные приоритеты развития России: образование, наука, инновации. – М, 2008. – С. 218-219.

³¹ Пат. 8898 Российская Федерация, МПК⁷ B01F13/02. Устройство для перемешивания субстрата для анаэробных биореакторных комплексов / Костромин Д. В., Сидыганов Ю. Н., Канарский А. В., Шамшуров Д. Н.; заявитель и патентообладатель Костромин Д. В. - № 2009119907/22; завл. 27.05.2009; опубл. 27.11.2007.

³² Пат. 2014313 Российская Федерация, МПК⁵ C05F3/00, C02F11/04. Способ переработки органически отходов/Ермолов Н.А.; заявитель и патентообладатель Ермолов Н.А. - № 5015771/15; завл. 10.12.1991; опубл. 15.06.1994.

³³ Пахомов А.Н. Мини-ТЭС на биогазе: опыт МГУП «Мосводоканал» / А.Н. Пахомов, С.А. Стрельцов, А.В. Битиев, М.Г. Хамидов // Энергобезопасность и энергоснабжение. – 2009. - №3. С. 22-24.

³⁴ Биоэнергетика: мировой опыт и прогноз развития. Научный аналитический обзор. – М.: ФГНУ «Росинформагротех». - 2007. – 204 с.

4.5. Конструкції біореактора й газгольдера, що застосовуються в різних апаратурних схемах біогазових установок, можуть бути як роздільні, так і сполучені³⁵.

4.6. По конструктивному поділу на стадії (зони бродіння) розрізняють наступні біогазові установки: без поділу на стадії, двостадійні та тристадійні.

Двостадійна анаеробна переробка органічних субстратів, при якій перша анаеробна фаза призначена для одержання живильного середовища для метаногенеруючих мікроорганізмів друга анаеробна фаза описана в³⁶. Технологія «трестадійної метаногенерації» була покладена в основу створеної в 1998 р. ЗАТ Центр «Экорос» дослідно-промислової установки по переробці відходів ферми великої рогатої худоби (КРС) з метою інтенсифікації процесу.

4.7. Типи біореакторів, застосовуваних у різних установках анаеробного зброджування, можуть бути розділені на дві більші групи:

а) з нефікованими мікроорганізмами (реактори повного перемішування, контактні реактори, реактори висхідного потоку з активним шаром мулу)³⁷.

б) з мікроорганізмами, фікованими на носіях (біоплівках). До цієї групи відносяться реактори з анаеробними фільтрами, з рухомими біодисками, з рециркуляцією активного мулу, такі, що мають інертні носії маленького розміру (частки міліметра), які граничать із контактними реакторами, і реактори зі завсидим або киплячим шаром активного мулу, фіксованого на інертних носіях.

³⁵ Биотехнология / Т.Г. Волова. – Новосибирск: Изд-во Сибирского отделения Российской Академии наук, 1999. – 252 с.

³⁶ Пат. 2423323 Российская Федерация, МПК C02F11/04. Установка для анаэробной переработки субстратов в биогаз и удобрения / Ковалев Д.А., Камайданов Е.Н., Лебедев В.В., Ковалев А.А.; патентообладатель Российская академия сельскохозяйственных наук Государственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства Российской академии сельскохозяйственных наук (ГНУ ВИЭСХ РОССЕЛЬХОЗАКАДЕМИИ) - № 2009121305/05; завл. 04.06.2009; опубл. 10.07.2011.

³⁷ Андрюхин Т.Я. Рециркуляционное анаэробное сбраживание отходов сельского хозяйства с выработкой биогаза / Т.Я. Андрюхин, Н.К. Свириденко, Ю.В. Савельев // Биотехнология. - 1989. Т. 5. - №2. - С. 219-225.

Вітроенергетичні установки

Вітрові електростанції – це сукупність вітряних електроустановок або вітрогенераторів, що перетворюють енергію вітру в електричну енергію, та складається (Рис. 7.) з ротора, інвертора напруги, контролера заряду та акумуляторних батарей.

Виробництво біогазу забезпечується анаеробною ферментацією біомаси (субстрату) рослинного чи тваринного походження або стоків різних виробництв харчової та целюлозопереробної промисловості. В БГУ також входить допоміжне обладнання: системи підігріву та перемішування, трубопроводи, насоси та газові компресори, центрифуги, контрольно - вимірювальна апаратура та засоби автоматизації.

Субстрат може подаватися до БГУ безперервно (проточна система) або через визначені проміжки часу. При цьому об'єм поступаючої та перебродженої біомас повинен бути однаковим. При такій технологічній схемі забезпечується найбільша продуктивність БГУ. Періодична або циклічна система використання реакторів, яких на установці повинно бути два або більше, передбачає поступове заповнення їх свіжим субстратом. Обов'язковим є неповне звільнення реактора від перебродженого субстрату, який відіграє роль закваски. Через декілька діб після заповнення бродильної камери починається метаногенез, інтенсивність якого після досягнення максимуму знижується. Для безперебійного та рівномірного забезпечення споживача біогазом при такій схемі роботи БГУ необхідно об'єднати декілька реакторів у блок. При періодичній системі бродильні камери використовуються менш ефективно, ніж при системі неперервного режиму роботи реактора. Періодичність заповнення реактора потребує будівництво сховища для біомаси. Щоб уникнути попадання повітря під час вивантаження субстрату, реактор необхідно заповнювати біогазом з допоміжних ємностей.

Бродильні камери або реактори – це основні частини БГУ. Рентабельність біогазового виробництва значною мірою залежить від конструктивних особливостей бродильної камери. В діючих БГУ перевагу мають реактори овальної і циліндричної форми. В таких реакторах з найменшими затратами можна перемішувати субстрат, вивантажувати шлам, видаляти біогаз і руйнувати тверду кірку, яка наростає на субстраті і обмежує вихід біогазу. В реакторах циліндричної форми умови для перемішування субстрату гірші, ніж у реакторах овальної форми. Надаючи реактору циліндричної форми похило-горизонтальне положення, можна зручніше розмістити обладнання для перемішування та створити кращі умови для видалення шламу.

Дослідження показують, що вихід біогазу значно залежить від тиску в робочій камері і є тим більший чим при більшому розрідженні (в певних технологічних межах) здійснюється процес. Однак недоліки застосування вакууму є очевидними і першу чергу впливають на вартість установки. Також вакуум є незручним з точки зору наступного використання біогазу. Тому оптимальним для забезпечення технічно раціонального та безпечного процесу вважається підтримання тиску в метантенку 2000-4000 Па (0,02-0,04 ат.).

При виготовленні реакторів використовують бетон, залізобетон, сталевий лист, склопластик. Еластичні реактори виготовляють з прогумованого матеріалу або пластику, надаючи їм овальної форми. Реактори заглиблюють у ґрунт, а при розміщенні на поверхні огорожують жорсткими конструкціями.

У всіх випадках бродильна камера повинна бути абсолютно герметична, володіти теплоізоляцією та корозійною стійкістю. У бродильній камері повинна підтримуватися стала температура, для чого там встановлюють нагрівні установки. З цією метою використовують тепло видаленого з реактора шламу і підігрів, на що іде до 30% енергії біогазу. Відомо декілька технічних рішень нагрівальних приладів, які використовуються в БГУ.

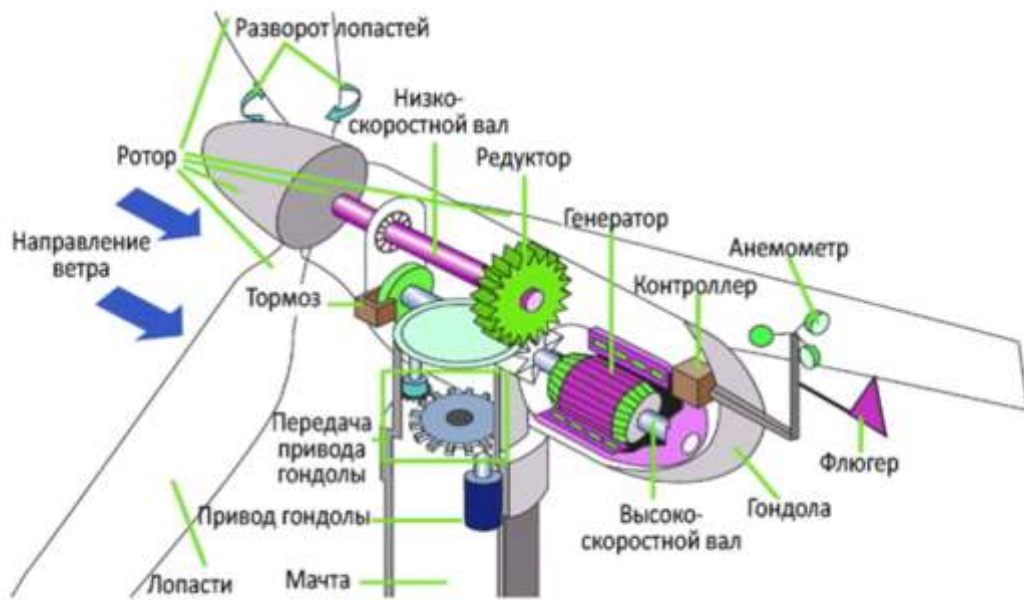


Рис. 7.

Коефіцієнт корисної дії у вертикальних і горизонтальних вітряків майже однаковий. Так для вертикальних цей показник становить 20-30%, а для горизонтальних 25-30%.

Для покращення роботи вертикальних вітряків, деякі компанії використовують постійні (неодіумні) магніти замість підшипників. Продуктивність такої системи зростає до 15%, тобто загальна продуктивність збільшується всього на 3-5% від загального сумарного ККД.

Використання енергії сонця

Крім цього в біотенку необхідно періодично знищувати тверду кірку на поверхні субстрату. Для цього субстрат перемішують механічними і гідравлічними пристроями. З цією метою також інколи використовують отриманий біогаз, який подають у реактор компресором. Швидкість перемішування субстрату не повинна перевищувати 0,5м/с. При більших швидкостях можуть розриватися оболонки мікробних клітин і процес метаногенезу суттєво сповільнюється.

Резервуар біогазової установки є її основною частиною і вимоги до нього досить високі. До основних вимог належать: гідравлічні, технологічні, теплотехнічні, економічні та естетичні.

Резервуар біогазової установки є її основною частиною і вимоги до нього досить високі. До основних вимог належать: гідравлічні, технологічні, теплотехнічні, економічні та естетичні.

За формою резервуари бувають (рис. 2.2):

- яйцеподібні;
- циліндричні;
- кулеподібні;
- з конусом доверху; донизу; з обох боків;
- у вигляді траншеї;
- кубічні;
- еластичні.

Найоптимальнішими за своїми гідравлічними та експлуатаційними характеристиками є яйцеподібні резервуари. Далі за якостями протікання процесу йдуть резервуари з конусами та циліндричні резервуари. Ці форми дозволяють зменшити гідравлічний опір при перемішуванні субстрату, уникнути застійних зон, через відсутність кутків, локалізувати місця збирання шламу та біогазу. Основним матеріалом для виробництва резервуарів є бетон, метал і полімерні матеріали.

За конструктивними особливостями біогазові установки поділяють на одно- та багатореакторні. Багатореакторні установки дозволяють досягти безперервного циклу бродіння та мають велику продуктивність, що дозволяє переробляти значні об'єми відходів.

Найпростіші за своїм виконанням циліндричні, кубічні та кулеподібні резервуари виробляють з старих металевих діжок, цистерн та інших ємностей, що використовуються в промисловості.

Біогазовий реактор – основа будь-якої біогазової установки, тому до його конструкції висуваються досить жорсткі вимоги. Корпус біогазового реактора повинен бути досить міцний при абсолютній герметичності його стінок. Обов'язковими є надійна теплоізоляція стінок та їх властивість протистояти корозії. При цьому необхідно передбачити можливість завантаження та вивантаження реактора, а також доступ до його внутрішнього простору для обслуговування [3]³⁸. Принцип роботи всіх біогазових установок однаковий: після збору й підготовки сировини, що полягає в доведенні її до необхідної вологості в спеціальній ємності, вона подається в реактор, в якому створюються умови для оптимізації процесу анаеробного бродіння [15]³⁹.

Практично досяжний в промисловій установці вихід газу залежить від багатьох факторів, вплив яких обумовлюється конструкцією установки та виробничими умовами. Суттєве значення впливу конструктивних параметрів мають такі фактори [3, 4]⁴⁰:

- завантаження робочого простору (кількість завантаженого субстрату, що припадає на одиницю чистого об'єму реактора, а також продуктивність його завантаження);

- технологічний час циклу анаеробного бродіння (час перебування в реакторі органічної маси, яка в нього закладена);

- інтенсивність перемішування субстрату в об'ємі реактора.

Більшу продуктивність мають багатореакторні установки, в яких забезпечується безперервний цикл анаеробного бродіння.

Класифікацію біогазових реакторів за конструктивними ознаками наведено на рис. 2.2.

Форми реакторів різноманітні. З точки зору створення найбільш сприятливих умов для перемішування рідкого субстрату, накопичення газу,

³⁸ Баадер Б. Биогаз: Теория и практика. / Баадер Б., Доне Брендерфер М.; Пер. с нем. М. И. Серебрянного – М. : Колос, 1982. – 148 с.

³⁹ Давиденко Е. В. Метангенерация твердых органических отходов городов / Давиденко Е. В., Панцхава Е. С. // Биотехнология. – 1990. – № 4. – С. 49 – 53.

⁴⁰ Гелетуха Г. Г. Биогаз зі звалищ. Перспективи використання в Україні/ Гелетуха Г. Г., Копейкін К. О. // Зелена енергетика. – 2002. – №1. – С. 13–16. – ISSN 1684-2294.

видалення відпрацьованих добрив та руйнування кірки, що утворюється на поверхні, доцільно використовувати резервуар, який за формою нагадує яйце (рис. 2.2). Великі реактори такої форми зазвичай споруджують із бетону, тому для них характерна висока вартість виготовлення, що суттєво обмежує їх застосування. Проте реактори менших об'ємів зовсім нескладно виконати із склопластика, тобто із армованої поліефірної смоли, до того ж вони мають меншу вартість.

Для циліндричного резервуара з конусними верхньою та нижньою частинами, як і для яйцеподібних, характерні невеликий простір для накопичення газу, обмежений об'єм плаваючої кірки, а також зручне вивантаження відпрацьованої маси. Однак в подібних реакторах створюються менш сприятливі умови для переміщення рідкого субстрату. В індивідуальних господарствах корпус реактора вищевказаної форми, але меншої місткості, виготовляють із сталі або склопластика. В реакторах із склопластика створюються кращі умови для переміщення субстрату [3]⁴¹.

Циліндричні резервуари відносно прості у виготовленні, що пояснюється значним досвідом будівництва ємностей для сільськогосподарських цілей (сталеві, бетонні, склопластикові цистерни-бункери для силосу та інших кормів) [14]⁴².



Рис. 8.

⁴¹ Баадер Б. Биогаз: Теория и практика. / Баадер Б., Доне Брендерфер М.; Пер. с нем. М. И. Серебрянного – М. : Колос, 1982. – 148 с.

⁴² Панцхава Е. С. Биоэнергетические установки по конверсии органических отходов в топливо и органические удобрения / Панцхава Е. С., Кошкин Н. Л. // Теплоэнергетика. – 1993. – № 4. – С. 20–23.

Використання біомаси для отримання енергії

Тверде, рідке або газоподібне паливо, що виготовлено з біомаси і може використовуватися як паливо або компонентом для інших видів палива, називається біопаливом. Біопаливо може бути у вигляді: біодизель, біогаз, гранули, брикети, звалищний газ з біомаси відносять до категорії біопалива.

Проте порівняно з резервуарами попередніх форм в циліндричному резервуарі неможливо організувати достатні умови для переміщення субстрату в установці, а тому при цьому доводиться враховувати високі витрати на видалення осаду та руйнування плаваючої кірки, що пов'язано зі збільшенням витрат енергії на перемішування біомаси.

У простих, зокрема в невеликих біогазових установках, які споруджуються власними силами, бродильна камера має форму паралелепіпеда (басейн або яма з кришкою). Для підвищення ефективності такий реактор перегороджують вертикальною стінкою, створюючи головну бродильну камеру та камеру для остаточного зброджування та осадження шламу. Проте установки такого типу не дозволяють досягти високого ступеню розкладення субстрату, оскільки в них практично неможливо забезпечити рівномірне перемішування біомаси, управління завантаженням робочого об'єму камери та дотримання часу перебування маси в реакторі, що є необхідним для отримання максимальної кількості газу. Руйнування плаваючої кірки та осаду пов'язано зі значними витратами [14]⁴³.

Якщо резервуар циліндричної форми розділити поперечною вертикальною перегородкою на дві камери, то можна організувати систему отримання біогазу з почерговим використанням камер резервуара (рис. 2.5). Будівництво резервуара з перегородкою буде дешевшим, ніж спорудження двох окремих резервуарів. При такому компоюванні зменшується значення

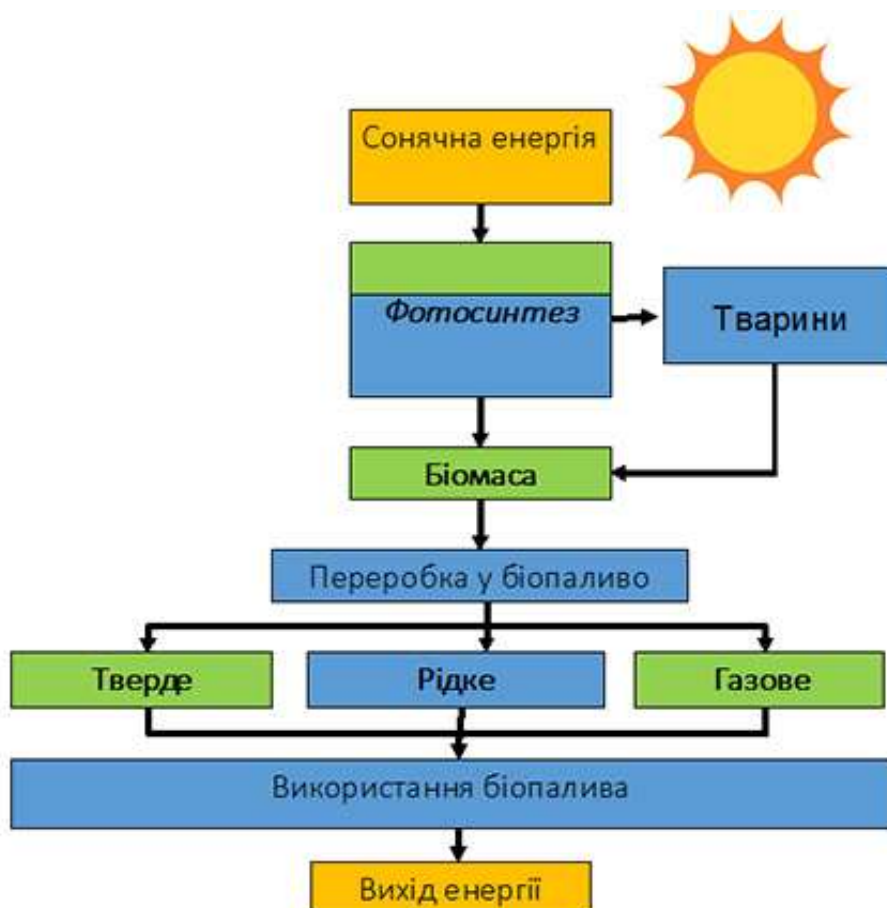
⁴³ Панцхава Е. С. Биоэнергетические установки по конверсии органических отходов в топливо и органические удобрения / Панцхава Е. С., Кошкин Н. Л. // Теплоэнергетика. – 1993. – № 4. – С. 20–23.

теплоізоляції зовнішніх стінок резервуара, а в перегородку, що виготовлена із досить теплопровідного матеріалу, нескладно вмонтувати будь-який нагрівальний пристрій, який надасть установці конструктивні переваги.

У горизонтально розташованому резервуарі субстрат переміщується в поздовжньому напрямі. Для невеликих установок застосовуються циліндричні реактори із сталі чи склопластика. Горизонтальні резервуари великої місткості, виготовлені із бетону, мають форму паралелепіпеда.

Нахилене розташування таких резервуарів полегшує відтік відпрацьованої маси до вивантажувального отвору. Така конструкція зручна для розміщення простого перемішувального механізму.

Утворення біомаси:



Основна причина впровадження теплогенеруючих потужностей на біомасі є незалежність від імпорتنих енергоносіїв, які забезпечують енергонезалежність держави, для розвитку її економічної та політичної

незалежності. Резервуар у вигляді викопаної в ґрунті траншеї дозволяє обробляти велику кількість субстрату. Як будівельний матеріал для стінок реактора використовують, як правило, бетон.

Значного поширення отримали траншейні біогазові установки (рис. 2.6).

Із приміщення, де утримують худобу, гній, розбавлений водою, надходить в біогазовий реактор, в якому відбувається бродіння. В установці передбачені механічне перемішування субстрату та грейфер для вивантаження збродженого гною.

Використання енергетичного потенціалу стічних вод та мулового осаду.

Теплові насоси.

Впровадження технології переробки бурякового жому шляхом метанування, являється не складним, з технологічної точки зору, процесом і не буде вимагати значних перепланувань підприємства та закупки дорогого обладнання, хоча й потребує деякої території для розташування. Також при метануванні жому на цукровому заводі можна додавати бурякове листя, хвостики та меласу, які в певній кількості завжди присутні на підприємстві і підлягають утилізації. Додавання цих відходів позитивно вплине на вихід біогазу, тому що вони мають більший, в порівнянні з жомом, енергетичний потенціал (з 1 тонни бадилля буряків і меласи можна отримати 200 та 430 м³ біогазу відповідно). Біогазова установка буде працювати в комплексі з іншим обладнанням заводу і безперервно буде отримувати жом після основного технологічного процесу.

Принципова схема біогазової установки зображена на рис.1.7.

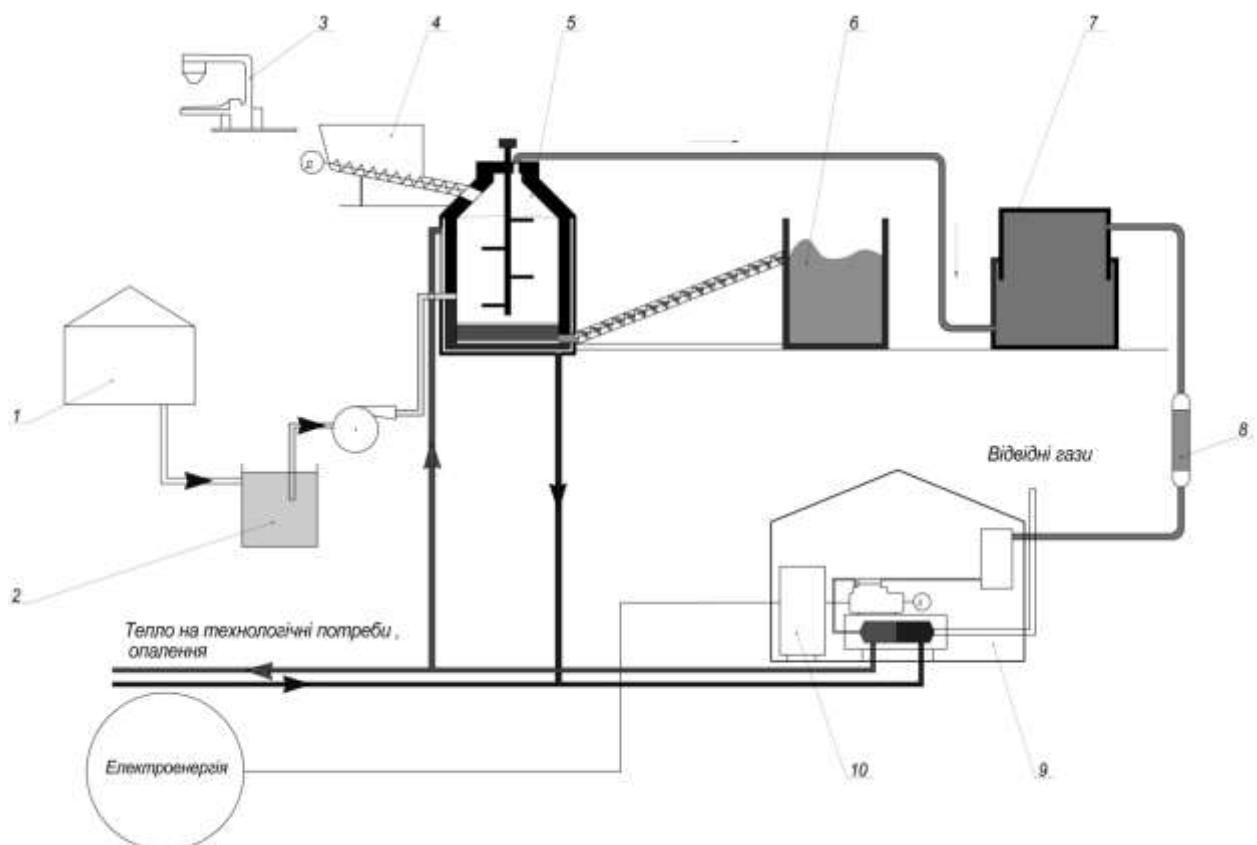


Рис.1.7. Принципова схема роботи біогазової установки.

Проблемою світового масштабу, є знешкодження та утилізація мулових осадів міських стічних вод, яку не вирішили повною мірою до цього часу.

Резервуар у вигляді викопаної в ґрунті траншеї дозволяє обробляти велику кількість субстрату. Як будівельний матеріал для стінок реактора використовують, як правило, бетон.

Значного поширення отримали траншейні біогазові установки (рис. 2.6).

Із приміщення, де утримують худобу, гній, розбавлений водою, надходить в біогазовий реактор, в якому відбувається бродіння. В установці передбачені механічне перемішування субстрату та грейфер для вивантаження збродженого гною.

До складу цієї установки входять насос (4), камера ферментації (5), біошламовий силос (6), резервуар для біогазу (7) і резервуар (2), в якому відбувається перемішування виділень. Виділення з корівника відводять в резервуар (2), обладнаний мішалкою (3). Головною вимогою, що ставиться до цієї технологічної схеми, є застосування підстилки у вигляді січки. У

попередній резервуар (2) можна кидати всі органічні відходи після їх подрібнення. Після ретельного перемішування маси, яка знаходиться в цьому резервуарі, її перекачують в камеру ферментації (5). Завантажена маса в камері ферментації підігрівається парою, підведеною з парового котла. Плівка, яка виникає в процесі ферментації, розбивається стислим біогазом або потоком завантажувальної маси. Шлам, що утворюється в результаті ферментації біомаси, накопичується на дні камери ферментації (5), звідки перекачується в силосний резервуар, а далі в спеціальні розливні прилади, якими його вивозять на поля. Біогаз, що утворився, збирається в окремому резервуарі (7). Представлений метод дозволяє отримувати з 1 тонни свіжого гною 53 м³ біогазу.

Висновки до розділу

Отже, нами були розглянуті комбіновані системи на основі ВЕ та АЕ. Цей напрям ще досі ідеально не вивчений, інновації та технологічні методи ще будуть покращувати роботу таких установок і в кінцевому випадку досягнуть великої енергоефективності. На сьогодні є зрозумілим що комбінація з двох або більше енергетичних установок в купі, доповнюють одне одного і закривають існуючі прогалини та недоліки.

Через забруднення навколишнього середовища, слід розглядати комбінації разом з альтернативними та відновлювальними джерелами енергії, це як мінімум зменшить викиди CO₂ в навколишнє середовище, а в ідеалі буде вироблятися чиста енергія. Також впровадження таких систем буде відповідати Празькій Угоді, яку Україна підписала.

Застаріла централізована система не є ефективною на сьогоднішній день. Децентралізована система має ряд переваг які були описані у розділі. Саме такі системи добре підходять для децентралізованої мережі і здатні покращити економічний та енергетичний сектор.

2. Методологія розрахунку рівня ефективності функціонування автономних систем електропостачання.

2.1. EROEI та що впливає на ціну генерації енергії

З дифузійного апарату жом транспортером потрапляє збірний бункер (2), після цього подається на зважування і подрібнювання (3). Подрібнені жом і органічна маса змішуються з сумішшю (4), яка подається в ферментатор-метантенк (5). В зв'язку з тим, що жом після пресів подається нагрітим, близько 55 °С, то його попередньо охолоджують до температури 37 °С перед початком бродіння. Після цього суміш розділяється на дві частини і подається на дві лінії ферментаторів-метантенків (рис. 8.25), які працюють паралельно, кожна лінія містить декілька ферментаторів. В ферментаторі за рахунок певної конструкції і підігріву витримуються оптимальні умови для протікання процесу ферментації. Ферментатор знизу розділений на три зони і суміш рівномірно подається а кожну зону через проміжок часу близько 20 хв. З певної висоти суміш з ферментатора забирається і одна її частина направляється в кінцевий ферментатор, де відбувається завершаюча стадія ферментації, а інша подається в змішувач.

Після завершення процесу ферментації осад перекачують в жомові ями – це і є добриво. Газ, що накопичується в верхній частині ферментаторів відкачують і направляють в газгольдер, де підтримують постійний тиск і об'єм. В випадку переповнення газгольдера, надлишки біогазу спалюються в факельній установці. Отриманий біогаз має приблизно такий хімічний склад: CH_4 -55-70%, CO_2 -27-43% та $>1\% \text{H}_2\text{S}, \text{H}_2$, (процентний вміст CH_4 залежить від якості сировини та дотримання параметрів технологічного процесу). Після газгольдера газ піддають процедурі осушення, для конденсації водного пару. Що міститься в біогазі, і стиснення компресорними установками до тиску близько 1,2-1,5 атм., при цьому охолодивши його до температури 25 °С. Далі

газ направляють на котли або когенераційні установки. Для безпосереднього спалювання газу в існуючих котлах їх потрібно переобладнати згідно з вимогами, замінивши пальники.

Практично досяжний у промисловій установці вихід биогазу залежить від багатьох факторів, вплив яких, обумовлене конструкцією установки й виробничими умовами, може бути дуже різним. Істотне значення мають наступні фактори:

- завантаження робочого простору (кількість органічної маси, що завантажується, у відношенні до одиниці часу і одиницю чистого об'єму реактора);
- технологічний час циклу бродіння (час перебування в реакторі органічної маси, що подається в нього);
- інтенсивність перемішування [2]⁴⁴.

При безперервному або квазі-безперервному технологічному процесі зброджування, найбільша інтенсивність розкладання виходить у тому випадку, якщо кількість органічної речовини, яка додається в одиницю часу до субстрату, що перебуває в реакторі, відповідає кількості органічної речовини, що вже розклалася до даного моменту. Додавання більших партій субстрату призводить до одержання субстрату що погано розклався і, відповідно, до меншого виходу газу, а додавання менших партій субстрату — до гіршого використання робочого об'єму реактора.

Якщо реактор, що працює в дискретному режимі, заповнювати занадто швидко, то порушується співвідношення між наявною кількістю активних бактерій і масою живильних речовин, внаслідок чого обмін речовин також не може протікати в оптимальному режимі, і відповідно виділяється менше газу в одиницю часу й на одиницю маси органічної речовини. Найбільший вихід газу з екскрементів різних сільськогосподарських тварин за умови гарного перемішування й невеликої в'язкості субстрату може бути отриманий при значеннях завантаження реактора, наведених у таблиці 1.7.

⁴⁴ Баадер В. Биогаз: теория и практика / В.Баадер, Е.Доне, М.Бренндерфер.— М.: Колос, 1982. — 148 с.

2.1.1. Дизельні електростанції

Перед завантаженням в камери ферментації (2) гній складається і зберігається в сховищі (1), що знаходиться на відкритому повітрі. Час складування гною становить від 14 до 50 днів. Завантаження гною в камери ферментації відбувається періодично. У цій технології використовується безпосереднє підігрівання, яке полягає в безперервному перебігу рідкої фракції виділень через теплообмінник (3), де вона підігрівається і звідти насосом (4) знову нагнітається в камери ферментації (2). Для підігрівання гнойової рідини використовується біогаз, що виробляється. У цій установці можна виробляти з 1 тони гною великої рогатої худоби 20 м³ біогазу. Враховуючи низьку вартість устаткування і експлуатації, заслуговує на увагу метод виробництва біогазу на установці Поетша (рис. 3.9).

Його автономність та відносна компактність робить його доступним і простим у використанні, саме тому це джерело енергії стало популярним. Різна будова та різні характеристики роблять його доступним для різних галузей. Так у промисловості використовують освітлювальні, силові та станції спеціального призначення. Як можна зрозуміти з назви освітлювальні генератори використовують переважно для освітлення. Силові генератори знайдуть собі застосування в тих випадках коли є потреба в устаткуванні яке повинно витримувати великі перепади необхідної потужності. І на останок залишилися станції спеціального призначення, такі станції виконують роль резервного живлення які слугують так званим запобіжників у випадку живлення лікарень при вимкненні основного джерела живлення. Більшість основного часу такі станції не працюють.

На відміну від автомобільного дизель-генератора, стаціонарний відрізняється підвищеними вимогами до рівномірності обертання валу, та здатність згладжувати великі перепади у відібраної потужності. Саме тому в дизель такого формату має регулятор обертів, більш надійний та якісну

підготовку до вибору пального все це направлено на більш тонку роботу з керуванням дизельного генератора

На генерацію енергії виробленої дизельною електростанцією, впливають такі чинники:

1. Вартість ремонту та обслуговування. Ціну обслуговування приймаємо за 10% від ціни обладнання;
2. Термін експлуатації установки, зазвичай він становить 20-25 років;
3. Витрата палива на 1 кВт*год та його ціна. Витрата палива лежить в межах від 0,15 до 0,3 л/кВт*год. При більшій номінальній потужності установки, буде більша витрата палива;
4. Вартість обладнання. Так установки з потужністю більше 30 кВт вартість такої станції буде 200-500 \$/кВт (ціни взяті середні по ринку в Україні);
5. Витрата масла на 1 кВт*год, складає 0,25-1,5 г/кВт*год, що має несуттєвий вплив на ціногенерування енергії дизельною установкою.

Так дизельні генератори які ми використовуємо можуть бути рядними чи V-типу. Виходячи за назви рядні генератори мають довгу довжину та можуть займати багато місця, тому в більш малих приміщеннях використовують дизельні генератори V-типу. Також виходячи з конструкції, дизеля які мають потужність 15 кВт та більше, повинні мати виключно рідке охолодження, це робить їх набагато тихішими та такі двигуни мають більший термін придатності (більший термін експлуатації).

Ціна на дизельного пального має постійно зростаючу тенденцію. В залежності від потужності, дизель-генератори бувають: до 50 кВт, від 50 – 200 кВт, та 200 та більше кВт. Відповідно до переліченого станції малої потужності, станція середньої потужності, та високопотужні дизельні електростанції. Це відбувається через те, що паливно горючі матеріали є товарами заміниками (газ, бензин, дизель). Тому, виходячи зі змін цін на один з цих видів палива, можна робити прогнози залежності цін.

У ДВГ якщо поговорити про ККД, дуже не поганий показник. Він може сягати 0,38-0,40%, що є непоганим показником як для вироблення електричної енергії на сьогоднішній день.

Нажаль економічна нестабільність пов'язана із війною на заході України призвела від залежності імпорту пального з інших країн, та визиває додаткові витрати. Географічно пальне (нафта, газ, нафтові піски) небезкінечні і з тим попитом яке є на нього зараз, скоро зазнає дефіциту. Зменшення кількості пального та дефіцит на нього, зумовить і подорожчання ціни на нього. Від таких факторів залежить ціна на пальне, а отже і буду дорожчати вироблена з цього пального і електроенергія.

На рисунку 9 приведено ріст ціни за 1 літр дизельного пального. Дивлячись на графік стає очевидним лінійна залежність дизельного палива, ціни постійно зростають, тому є велика можливість, що у майбутньому ціна на дизель продовжить свою тенденцію росту.



Рис. 9. – графік зміни ціни дизельного пального за 1 літр в останній період

У висновку хочеться сказати хоч дизельний генератор дуже зручний в користуванні у віддалених населених пунктах або місцях які не підключені до центральної мережі, все ж таки закінчення запасів пального призведе до

подорожчання ціни на нього, що буде відчутнім для ціноутворення електричної енергії, що і видно з графіку вище, де ціна лінійно йде вгору.

2.1.2 Сонячні електростанції

Основні затрати на вироблення електроенергії сонячною електростанцією це:

1. Вартість обладнання сонячних електростанцій;

Так вартість на сонячні панелі/фотоелектричні модулі різняться, це можна пояснити різними технічними характеристиками, матеріалом виготовлення, різними виробниками, властивостями його покриття, допоміжними властивостями елементів модулю тощо. Кількість та ефективність фотоелементів є значущим фактором для вироблення електроенергії. Орієнтація панелі визначає залежність потрапляння сонячного світла на сонячну панель. Температурний коефіцієнт також не менш важливий елемент, від дозволяє розрахувати втрати фотомодуля при нагріві. енергії, та знижують ціну за одиницю виробленої енергії.

Розглянемо, для прикладу, кількість сонячної енергії яка потрапляє на 1 м² площі для Запорізької обл. за рік (Рис. 10.).

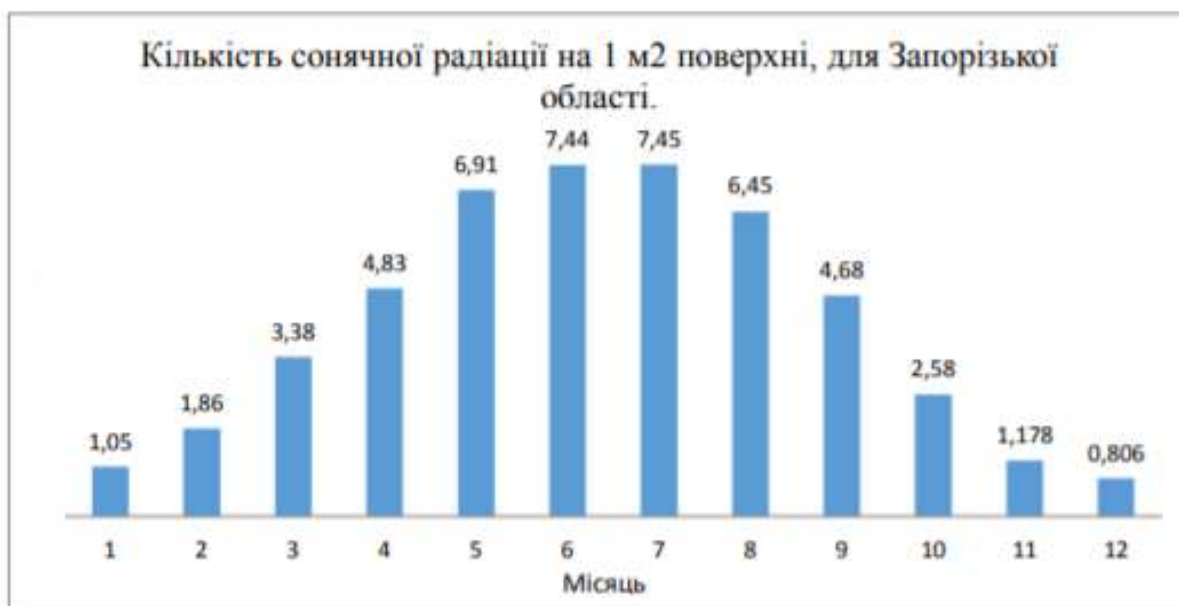


Рис. 10. – Кількість сонячної енергії, яка потрапила на 1 м площі, протягом року.

2.1.3 Вітрогенеруючі електростанції

Отже, розберемося що впливає на генерацію електричної енергії виробленої вітровою електростанцією:

1. Кількість повітряних мас/швидкості вітрового потоку, для того чи іншого географічного розташування, де встановлена вітрогенеруюча електростанція.

Проаналізуємо графік залежності швидкості повітряних мас для Запорізької обл. за годинами доби.

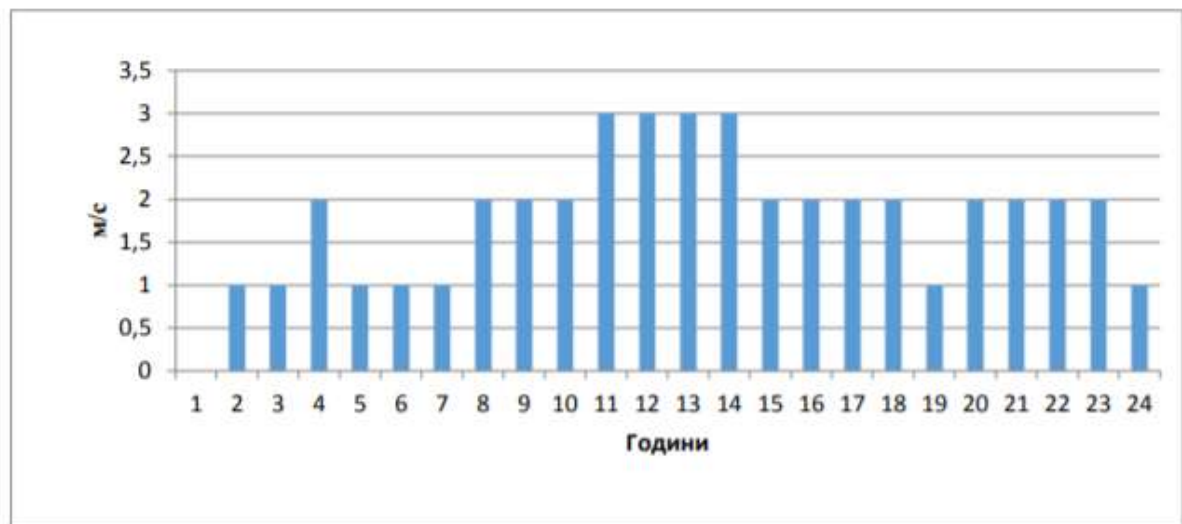


Рис.

11. – Графік середньої швидкості повітряних мас в залежності від години доби.

2.2. Генерація електроенергії за рік з огляду затрат на кожну кВт-год

2.2.1 Системи на основі традиційних джерел енергії

Формула розрахунку вартості вироблення 1 кВт·год електроенергії за рахунок дизельного генератора:

$$c = \frac{C_y}{T_e \cdot W} + c_0 + c_{\text{п}} \cdot q$$

де q – питома витрата палива на 1 кВт·год електроенергії;

c_0 – питома вартість обслуговування установки;

T_e – термін експлуатації установки;

$c_{\text{п}}$ – вартість одиниці палива використаної для роботи установки;

C_y – питомі затрати на закупівлю генеруючої установки (за 1 кВт встановленої потужності);

W – кількість виробленої електроенергії встановленою одиницею потужності установки середнього значення за рік.

Дизель-генератор, вартість генерації якого за 1 кВт·год залежить від часу роботи цієї установки за день, на повну потужність, отже, це відображено на Рис. 12.

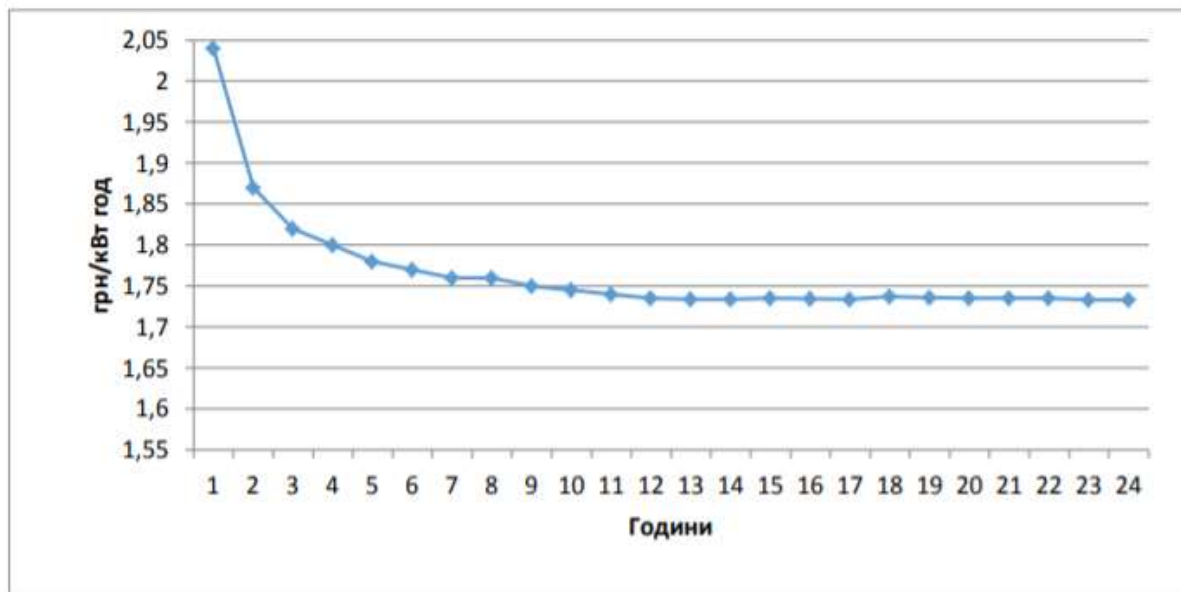


Рис. 12. – Графік залежності вартості вироблення ДЕС 1 кВт·год від середнього значення часу роботи, на повну потужність за день.

2.2.2 Системи на базі відновлювальних джерел енергії.

Формула, що розраховує вартість вироблення 1 кВт·год електроенергії за рахунок як сонячної електростанції, так і вітрової у даному досліді:

$$c = \left(\frac{C_y}{T_{e/y}} + \frac{C_y \cdot b_{д.о.}}{T_{e/д.о.}} \right) \cdot \frac{(1 + b_{обсл.})}{W},$$

де W – кількість генерованої електроенергії установкою яку ми використовуємо в досліді, питомою одиницею встановленої потужності установки в середньому за рік;

$$W(q) = \begin{cases} 0, & \text{при } q < q_0, \\ W, & \text{при } q_0 < q < q_n, \\ W_n, & \text{при } q_n \leq q, \end{cases}$$

де W_n – енергія, яку виробляє сонячна панель при номінальній сумарній сонячній радіації;

q_n – номінальна сумарна сонячна радіація, є одним із основних показників при розрахунку генерації сонячної панелі, що потрапляє на горизонтальну поверхню, при якій сонячна панель видає електричні параметри, достатні для зарядження акумуляторних батарей традиційними методами;

q_0 – початкова сумарна сонячна радіація, що потрапляє на горизонтальну поверхню, для початку вироблення сонячною панеллю електроенергії.

W – енергія, яку виробить сонячна панель, при номінальній сумарній сонячній енергії.

де W – енергія, що виробляється при швидкості повітряних мас меншої від номінальної;

$v_{кр}$ – критична швидкість вітру роботи вітрогенеруючою установкою;

v_0 – початкова швидкість вітру роботи вітряка;

Так на Рис. 13. Відображено графік залежності електричної енергії виробленої сонячною електричною системою від частки часу коли $q_n < q$ (іншу частку складає період $q_0 < q < q_n$).

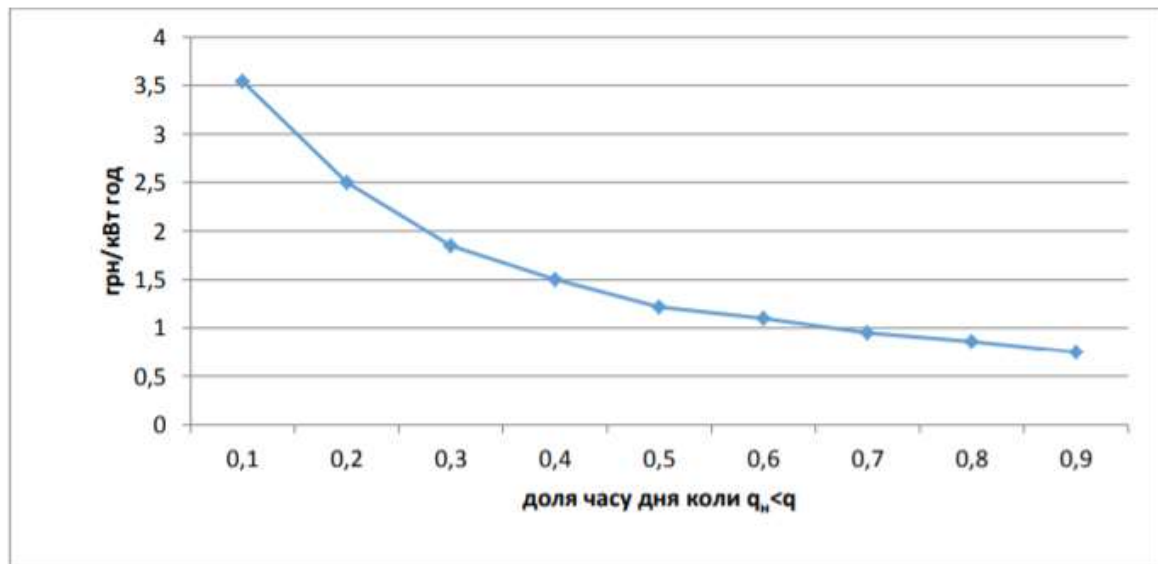


Рис. 13. – Графік залежності вартості 1 кВт·год від долі часу ($q_n < q$) виробленої сонячною електричною станцією.

Отже, кут нахилу відіграє велику роль в потраплянні світла на сонячну панель, та напряду залежить на ціну генерації. Кількість сонячних панелей та їх площа також будуть приносити дивіденди у вигляді більш ефективного ціноутворення електроенергії.

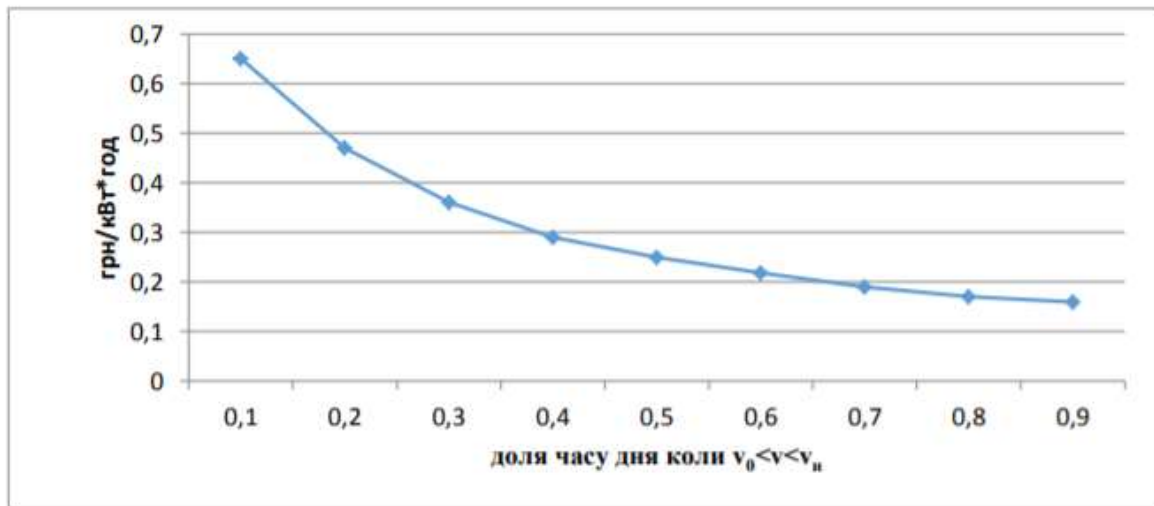


Рис. 14. – Графік залежності вартості 1 кВт·год електроенергії, що виробляє вітроелектрична установка в частці часу коли $v_0 < v < v_H$

2.2.3 Ціноутворення електроенергії виробленої різними видами електростанцій.

В середньому ціна на електричну енергію від альтернативних та відновлювальних джерел енергії (ВДЕ), яку виробили різними шляхами на різних електростанціях, знаходиться на одному рівні з традиційними джерелами в середньому

Хоча найпопулярнішим є ТЕС, ТЕЦ, та АЕС, розвиток децентралізованих мереж з використанням автономних комбінованих систем на основі ВДЕ, є найкращим способом до збалансування енергосистеми та чистого майбутнього.

Відобразимо світову вартість електроенергії виробленої з різних джерел палива, на рисунку 16.



Рис. 16. – Середні значення мінімальної та максимальної електричної енергії на електростанціях на основі ВДЕ і різних видів палива: 1 – мікро- та малі ГЕС; 2 – ВЕС; 3 – геотермальні станції; 4 – ТЕС на відходах деревини; 5 – газифікація біомаси; 6 – газ звалищ; 7 – тверді побутові відходи; 8 – сонячні термодинамічні станції; 9 – фотоелектричні станції; 10 – ТЕС на вугіллі; 11 – екологічно чисті ТЕС; 12 – ТЕС на газі; 13 – газотурбінні з комбінованим циклом; 14 – атомні станції.

2.3 Критерії розробки математичної моделі оптимізації вироблення електроенергії комплексною електроенергетичною системою

В даному дослідженні є важливим постановка задачі, до якої розробляється математична модель. Головною цілю є розробити математичну модель для оптимізації вироблення електроенергії комплексною енергетичною системою.

Фактори які можуть виступати критерієм в оптимізації:

- Підвищення якості електрозабезпечення;
- Зниження затрат на одиницю спожитої електроенергії;
- Доцільність використання власних генеруючих потужностей
- Підвищення надійності електропостачання;
- Зниження сумарних затрат на електроенергію та енергоносії.

Режимів роботи гібридних енергетичних систем є три, а саме: послідовному, паралельному та послідовно-паралельному. Так при паралельному електричну енергію виробляють одразу всі установки (ВЕУ, СЕУ, ДЕС). У випадку коли послідовний режим електричну енергію виробляють поперемінно, та йде споживання від централізованого електропостачання.

Висновки до розділу

Отже, говорячи про ціноутворення електричної енергії можна сказати, що для дизельних електростанцій, ціна залежить часу її роботи та питомої вартості. Основна ідея дизельного генератора в таких системах, це що вона слугує резервним джерелом енергії. В основному ДЕС покриває лише пікове навантаження, а так основну частину не виробляє електричну енергію.

Для відновлювальних джерел енергії а в нашому випадку для СЕУ та ВЕУ, ціна залежить від місця розташування напряму, адже в ідеальних умовах ціна на електричну енергію для ВДЕ можуть бути нижчою ніж та, що пропонує об'єднана енергосистема України.

3. Практичне застосування дискретного програмування для оптимізації функціонування комбінованих систем електропостачання

3.1 Аналіз вхідних даних отриманих за допомогою опитувальних листів.

Розглянемо автономну систему електропостачання невеличкого району, що має декілька відновлювальних джерел енергії, а саме: сонячні батареї, вітрогенеруючі установки, та в якості резервного живлення дизельний генератор. Не будемо виключати можливість підключення споживачів до централізованої мережі

Вихідні дані які були використані в даному дослідженні необхідному для розрахунку алгоритму є: енергоефективність, а саме окремо для кожного генеруючого пристрою, тобто вироблена енергія цим устаткуванням протягом року та споживанням електричної енергії будівлею або закладом, яке живиться від цієї автономної енергетичної системи.

Вихідні данні були взяті про споживання електроенергії дошкільного навчального закладу, школи та житлового будинку за період 2019-2021 року. На рисунку 17 можемо побачити середньорічні обсяги споживання електроенергії.

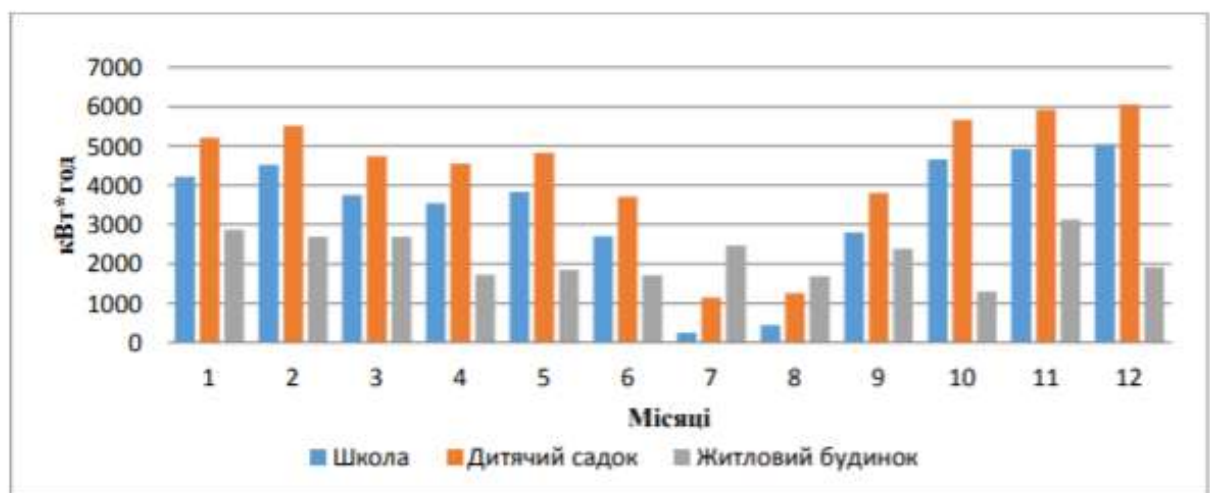


Рисунок 17 - середньорічні обсяги споживання електроенергії об'єктів дослідження за 2019-2021 рік.

Збір інформації про дані установок відновлювальних джерел малої потужності, до 3 кВт зарубіжного або вітчизняного виробництва, відбувається на інформаційному етапі для заставлення таких характеристик:

Для вітроустановок це: ККД вітроколеса, діаметр вітроколеса, номінальна напруга, початкова робоча швидкість, ККД редуктора, ККД генератора, номінальна і найбільша потужність вітрогенератора, висота щогли та її тип.

Для сонячних панелей це: номінальні потужності, ККД, напруга та струми на виході, типи кристалів, спосіб встановлення.

На цьому етапі необхідно розрахувати досяжні обсяги генерації електричної енергії для окремо кожної відновлювальної енергетичної установки. Розрахунки проводилися за наступними методами:

- на основі методики викладеної в [52] для вітроустановок (дод.Д);
- на основі методики [53] для сонячних панелей (дод.Г).

Також ми визначили обсяги генерації кожного устаткування ВДЕ яку провели на основі даних про погодні умови. Перелік за яких були проведені вищесказані розрахунки були обрані (додаток Б):

- рівень інсоляцій горизонтальної поверхні;
- середня температура за місяць;
- в залежності від швидкості вітру, варіацію статистичного коефіцієнта;
- середній показник за місяць по напрямку вітру на висоті 50 метрів над поверхнею землі;
- середня швидкість вітру на висоті 50,100,150 та 300 метрів за місяць;
- середній відсоток за місяць швидкість вітру до 50 м;
- середній показник атмосферного тиску.

Аналітичний етап

Уся енергія що потрапляє до нас з тим або іншим носієм нікуди просто так не дівається. Зовсім давно, перші люди використовували енергію вогню, щоб отримати тепло, приготувати собі їжу, виробити побутове приладдя. Використання енергії розпочалося ще за давніх часів. Потім почали використовувати силу вітру у старих млинах для переробки зерна в муку. Сила вітру, яка штовхає лопоті вітряка, та передає свою енергію йому. В свою чергу вітряк перетворює механічну енергію в електричну через генератор. Енергетичний потік в простому розумінні, є передача енергії від одного об'єкта до іншого, в часі та просторі. Енергію можна перетворювати з одного виду, наприклад теплової, в електричну, так і навпаки, з електричної можна створити теплову. Це зручно використовувати, так можна виробляти теплову енергію і розподіляти її до споживачів, а коли споживачам вона не потрібна, з теплової енергії можна почати виробляти електричну. Отже, як можуть бути отримані ці потоки енергії? Їх можуть виробляти та переробляти різні види джерел, наприклад:

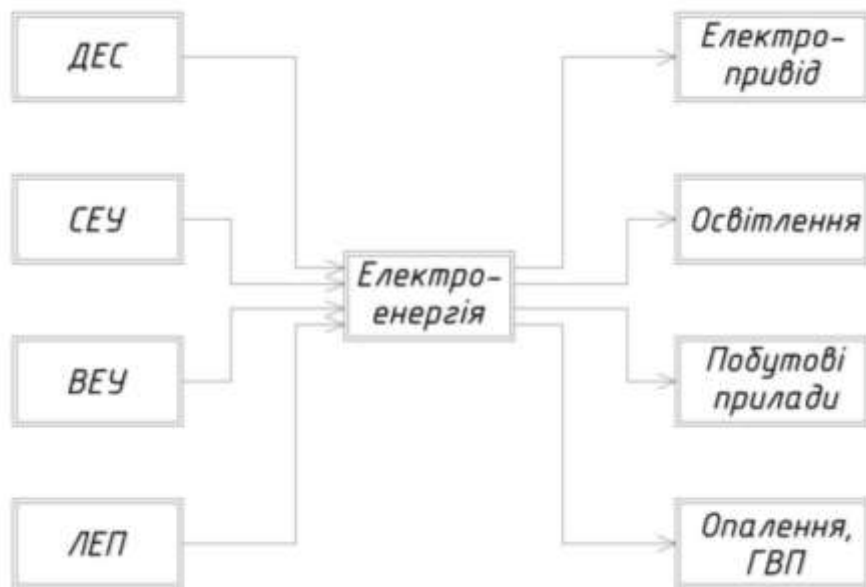


Рис. 18 – Перетворення енергії різними шляхами комбінованою автономною системою електропостачання.

Сучасний споживач сильно відрізняється від споживача за часів мамонтів. Зараз полювання йде тільки на найновіші та найпопулярніші «мобілки», а не на оленів та кабанів, хоча якби в цих звірів був вмонтований великий екран, думаю люди передивилися б своє рішення. Отже, сучасна людина не уявляє свого життя без електричної енергії. Освітлення, опалення, побутові прилади, нагріти воду та багато іншого все це працює від електричної енергії.

Розглянемо наш дослід в якому ми розглядаємо автономну комбіновану систему, як джерело живлення мікро-району в якому знаходиться школа, дошкільний навчальний заклад та кілька житлових будинків. Її структурна схема енергетичних потоків для досліджуваного об'єкта зображена на рисунку 19. На малюку ми зобразимо стрілками напрямки енергетичних потоків, та кількість енергії яку споживають – X_{ij} . А цифрами на малюку від 1 до 4, будуть позначені джерела енергії, а цифрами 5-7 позначимо споживачів.

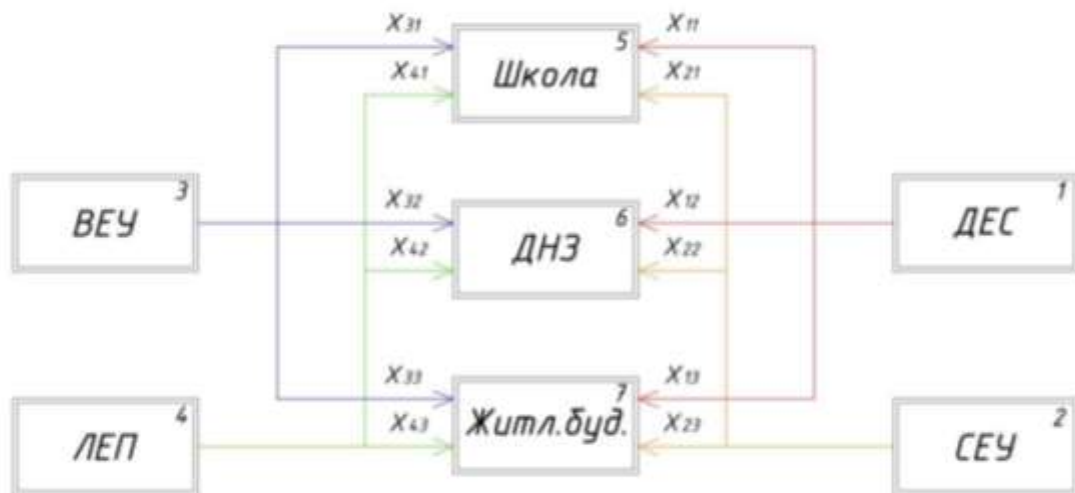


Рисунок 19 – Структурна схема потоків енергії від джерел енергії до споживачів.

Розглянемо математичну модель оптимізації задачі, яка зображена у вигляді цільової функції, мінімум якої необхідно знайти:

$$F = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n Q_{i,j} \cdot a_{i,j} \cdot x_{i,j} + \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n Q'_{i,j} + \sum_{l=1}^k Q_l \cdot C_l \rightarrow \min,$$

При заданих обмеженнях:

$$\sum_{j=1}^m a_{i,j} \cdot x_{i,j} = \lambda_{i,j} \pm C_i, \quad (3.1)$$

$$\sum_{i=1}^n a_i \cdot x_{i,j} = C_j, \quad (3.2)$$

$$a_{i,j} \leq x_{i,j} \leq b_{i,j},$$

$$A_i \leq C_i \leq B_i,$$

$$A_j \leq C_j \leq B_j,$$

$$i=1,2 \dots n$$

$$j=1,2 \dots m,$$

де $a_{i,j}$ – показник питомої витрати палива, для вироблення енергії; $A_i(A_j)$ та $B_i(B_j)$ – це граничні значення величини $C_i(C_j)$; Q_l – це затрати на додадкову енергію яка поступила додатково в систему чи виходить з неї; $Q'_{i,j}$ – витрати енергії пов'язаних з капіталовкладенням та експлуатаційними витратами грн/рік; $\lambda_{i,j}$ – питома витрата енергії що йде на виробництво одного кВт*год, яке було вироблено і-м джерелом енергії; $x_{i,j}$ – кількість переданої енергії від і-того до j-го споживача; $Q_{i,j}$ – затрати електроенергії до j-го споживача від і-го джерела енергії.

Для рівнянь (3,1) та (3,2) запишемо окремо як споживачі та джерела енергії. Існує дві межі обмеження, а саме (а) верхня межа і (б) нижня для меж використання ресурсу. В моделі зі змінного є тільки зв'язки $x_{i,j}$ – це річне споживання електроенергії споживачами.

В даному дослідженні будемо використовувати першу складову цільової функції. Через неї визначимо енерговитрати на рік без урахування витрат на капіталовкладення та амортизацію обладнання. Другу частину ми

використаємо для розрахунку обліку. Проведемо розрахунок за трьома складовими.

Висновки до розділу

За основу ми взяли мікрорайон який налічує школу, дошкільний навчальний заклад та житлові будинки. Оптимізували комбіновану систему електропостачання щоб кожен її елемент виробляв максимальну кількість енергії при мінімальних затратах.

В даному розділі оптимізували задачі, визначили пріоритетні енергопотоки. Розраховали річні затрати на роботу комбінованої автоматизованої системи електропостачання.

Графік генерації електроенергії комбінованої системи знайде вільне місце, то при побудові такої системи, ми добавимо ще й сонячну електроустановку.

4. Впровадження результату дослідження роботи

4.1. Опис ідеї по впровадженню

Сучасний стан. Основний вид електропостачання на сьогодні в цілому здійснюється від об'єднаної енергосистеми (ОЕС). Основним джерелом генерації є традиційні методом, спалюванням корисних копалин та пального. Проте, останнім часом ВДЕ набрало достатньої популярності. Їх використання можливе і як незалежне джерело енергії, так і в комбінації з традиційними способами генерації електричної енергії.

Тенденція на зниження собівартості виробленої електроенергії шляхом використання ВДЕ, майже досягла вартості, як і вироблення традиційними методами. Особливу увагу слід приділити міні- та мікро ГЕС, вартість генерації енергії яких, вже менша за традиційну генерацію. ВЕС в свою чергу вже впритул наблизилися до ціни традиційних джерел енергії. А от сонячні панелі трошки недотягують, однак їх стрімке розвинення, робить їх привабливими для інвестицій в майбутнє.

Зношеність та неефективність обладнання з кожним роком все більше і більше. На сьогодні вже прогнозують стрімке зниження кількості покладів корисних копалин, які використовують для електроенергії видобутку традиційними методами.

Вже сьогодні, підводячи межу ціну генерації електроенергії, та порівнюючи дві генерації, від ВДЕ та традиційним шляхом, стає очевидним, що ВДЕ на даний час вже є конкурентоспроможними. Враховуючи розвиток технологій можна очікувати значного впровадження обсягів виробництва електроенергії шляхом використання ВДЕ.

У сучасному вирії життя, де кожні п'ять хвилин трапляється якась подія, сучасний споживач електроенергії формує графік споживання електричної енергії. Основною метою визначити умови, щоб задовольнити попит на електроенергію споживачів. Все це ми визначимо проаналізувавши особливості їх регіону, соціальні та економічні особливості, а також режими за

якими вони споживають електроенергію. Останнє можна вирішити шляхом підвищення ефективності роботи устаткування, та оптимізацією обладнання комбінованих систем електропостачання.

Отже, які перспективи можна чекати від нашого дослідження? Суть його полягає в маркетинговому вивченню особливостей потенціалу реалізації науково-технічних рішень які були запропоновані, також слід оцінити можливості їх ринкових перспектив, для подальшого впровадження.

Метою дослідження є розроблення математичної моделі та оптимізації вироблення електричної енергії комбінованою енергосистемою та її синтез.

Основні проблеми які потребують вирішення це оптимізація технологічних процесів для того щоб виробляти енергоефективніше електроенергію.

Критерій оптимізації в цій роботі є зниження сумарних затрат на електроенергію, яку споживають споживачі. Ми дослідили зв'язки між цими елементами для побудови математичної моделі.

Висновки до розділу

Розроблена нами комбінована система може бути впроваджена в різні галузі підприємств України наприклад: промислової, хімічної, машинобудівельної, енергетичної тощо. Запровадження буде оптимальне для споживачів які знаходяться у віддалених від електричної мережі місцях, але потребують електричної енергії.

На заводі комбінованих систем електропостачання можуть стати погане регулювання законодавчих законів, економічною нестабільністю, зношене обладнання та неефективні мережі можуть призвести до неправомірності інвестицій інвесторами в цю галузь.

Розвиток відновлювальних джерел є актуальним для комбінованих систем електропостачання, так з покращенням енергоефективності, можна буде досягти в комбінації ще більшої ефективності. Витрати на видобування електроенергії стануть меншими, а отже ціна на електроенергію спаде.

Висновок

У бакалаврській роботі нами була розглянута тема комбінованих систем електропостачання в секторі міського господарства з системою акумулювання. В основі комбінованої системи електропостачання лежать відновлювальні та альтернативні джерела енергії. Використання таких робить величезний внесок в захист навколишнього середовища, та зменшення викидів CO₂ в атмосферу.

Вже сьогодні, підводячи межу ціну генерації електроенергії, та порівнюючи дві генерації, від ВДЕ та традиційним шляхом, стає очевидним, що ВДЕ на даний час вже є конкурентоспроможними. Враховуючи розвиток технологій можна очікувати значного впровадження обсягів виробництва електроенергії шляхом використання ВДЕ.

Основною перевагою на сьогодні стає заміна виробництва старого та неефективного обладнання яке працює на викопному пальному, та забруднює навколишню середу, на нові технологічно інноваційні відновлювальні джерела енергії. Вирішена нами задача математичного моделювання вирішить питання комбінаційності, а отже і дасть змогу підключатися до єдиної енергосистеми України без витрат надійності відпуску електроенергії, покращиться енергоефективність роботи системи.

За допомогою розробленої математичної моделі та проведеного моделювання енергетичних потоків генерації електроенергії було практично доведено, що використання ВЕУ є економічно виправданим заходом.

Список використаних літератури

1. Бурбело М.Й. Проектування систем електропостачання. Приклади розрахунків / Бурбело М.Й. – Вінниця: Універсум-Вінниця, 2005. – 148 с.
- И.О., Плотников И.А. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 100 с.
2. Виссарионов, В.И. Энергетическое оборудование для использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии / В.И. Виссарионов, С.В. Белкина, Г.В. Дерюгина, В.А. Кузнецова, Н.К. Малинин -М., 2004. 448 с
3. Лукутин Б.В. Децентрализованные системы электроснабжения с ветровыми и солнечными электростанциями: учебное пособие/ Лукутин Б.В., Муравлев
4. Елистратов В.В., Конищев М.А. Ветро дизельные электростанции для автономного энергоснабжения северных территорий России // Альтернативная энергетика и экология, №11(151)/2014
5. Балужин, В.М. Расчет энергопотребления при проектировании автономной системы электроснабжения. Электрооборудование автономных объектов. Текст. / В.М. Балужин, В.И. Дулов М.: Сборник научных трудов МЭИ, 1987. - № 143. - С. 19-23.
6. Стаття 24news [Електронний ресурс]/ Інформаційний ресурс. – Режим доступу: <http://24news.com.ua>
7. Castle J. Analysis of merits of hybrid wind/photovoltaic concept for standalone systems. Text. / J.A. Castle, J.M. Kallis, S.M. Moite, N.A. Marshall // Proceeding of the 13th IEEE Photovoltaic specialists conference. 1981. - P. 738-742.
8. Балужин, В.М. Расчет энергопотребления при проектировании автономной системы электроснабжения. Электрооборудование автономных объектов. Текст. / В.М. Балужин, В.И. Дулов М.: Сборник научных трудов МЭИ, 1987. - № 143. - С. 19-23.
- 9.Калинчик В. П. Планирование энергообеспечения регионов Украины на основе возобновляемых источников энергии / В. П. Калинчик, М. Т. Кокорина

// Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського / Наук. журнал. – Кременчук.: КрНУ імені Михайла Остроградського, 2013. – №3 (80). – С. 60-65.

10.Калинчик В. П. Оценка рисков генерации энергии из возобновляемых источников / В. П. Калинчик, М. Т. Кокорина // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація / Збірник наукових праць КНТУ. – Кировоград: КНТУ, 2013. – № 26. – С. 225-230.

11.Сталий розвиток України в контексті використання відновлювальних та нетрадиційних джерел енергії [Електронний ресурс] / А. О. Рожко. – Режим доступу: www.confcontact.com/2007may/1_rozhko.htm

12.Другий спільний звіт ЄС-Україна в енергетичній галузі. Про хід реалізації положень Меморандуму про взаємопорозуміння між ЄС та Україною щодо співробітництва в енергетичній сфері протягом 2007 року [Електронний ресурс] / Співробітництво між Україною та ЄС в енергетичній галузі. - Режим доступу: <http://mfa.gov.ua/ua/page/open/id/>

13.Закон України «Про альтернативні джерела енергії» N 555-IV від 20 лютого 2003 р. / Верховна Рада України. – Офіц. вид.- К.: Відомості Верховної Ради України, 2003. - N 24. - ст.155

14.Gergaud, O. Energy modeling of lead-acid battery within hybrid wind/photovoltaic systems. Text. / O. Gergaud, G. Robin — Режим доступу: <http://www.bretagne.ens-cachan.fr>.

15. Проект Постанови Верховної Ради України "Про концепцію переходу України до сталого розвитку" № 5749 від 02.07.2004 р

16.Энергетическая стратегия Украины на период до 2030 года: распоряжение N 145-р от 15.03.2006/ Кабинет Министров Украины. / Офиц. изд. – К.: Парлам. изд-во, 2006. – 129 с.

17.Енергетична стратегія України на період до 2030 р.: розпорядження Кабінету Міністрів від 24.07.2013 № 1071/ Кабінет Міністрів України / Офіц. вид. – К.: Парлам. вид-во, 2013. – 166 с

18. Развитие использования возобновляемых источников энергии в государствах – участниках СНГ [Электронный ресурс] / Содружество Независимых Государств. – Режим доступа: www.e-cis.info/foto/pages/23522.doc
19. Пугач Л. И. Нетрадиционная энергетика - возобновляемые источники, использование биомассы, термохимическая подготовка, экологическая безопасность : учебное пособие / Л. И. Пугач, Ф. А. Серант, Д. Ф. Серант ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2006. – 345 с.
20. Нетрадиционные возобновляемые источники энергии [Электронный Ресурс] : электронный журнал энергосервисной компании // Экологические системы. – 2005. - № 11. - Режим доступа: http://esco-ecosys.narod.ru/2005_11/art14.htm
21. Перспективи розвитку «зеленої» економіки [Електронний Ресурс] : звіт Фонду ім. Фрідріха Еберта / Ю. Огаренко, А. Мартинюк. - Режим доступу: http://www.fes.kiev.ua/new/wb/media/publikationen/green_economy_perspectives.pdf
22. Лукутин Б. В. Возобновляемые источники электроэнергии: учебное пособие / Б. В. Лукутин. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 187 с.
23. Находов В.Ф. Ймовірносно-статистичний підхід до побудови енергобалансів виробничо-господарських об'єктів / В.Ф. Находов, О.В. Бориченко // Промислова електроенергетика та електротехніка “Промелектро”. – 2007. - № 6. - С.45-54.
24. Розен В.П. Планирование оптимального использования потенциала энергосбережения промышленных предприятий / В.П. Розен, А.И. Соловей, А.В. Чернявский, В.А. Казмирук // Технічна електродинаміка. – 2006. - №5. – С. 59-67.
25. Праховник А.В. Контроль ефективності енерговикористання – ключова проблема управління енергосбереженням / А.В. Праховник, В.Ф. Находов,

- О.В. Бориченко // Энергосбережение, энергетика, энергоаудит. – 2009. - №8 (66). – С. 41-54.
- 26.Калинчик В.П. Определение шага дискретизации для контроля и управления электропотреблением / В.П. Калинчик, А.А. Петров, В.В. Калинчик // Промислова електроенергетика та електротехніка “Промелектро”. – 2010. - №3. – С. 20-24.
- 27.Праховник А. В. Побудова автоматизованих систем обліку електроенергії для енергетичних об'єктів / А.В. Праховник, В.П. Калинчик, О.В. Дегтярьов // Новини енергетики. – 2007. – №5. – С.55-58.
- 28.Ковалко М.П. Особливості формування енергозберігаючої політики в Україні / М.П. Ковалко, С.П. Денисюк. – К.: Держкоменергозбереження України, 1996. – 72 с.
- 29.Праховник А.В. Практичний посібник з енергозбереження для об'єктів промисловості, будівництва та житлово-комунального господарства / А.В. Праховник, В.В. Прокопенко, О.М. Закладний, В.І. Дешко та інш. – Луганськ: Місячне сяйво, 2010. – 696 с.
- 30.Гелетуха Г.Г. Україна: нетрадиційні та відновлювані джерела енергії / Г.Г. Гелетуха, С.О. Кудря // Зелена енергетика. - 2005.- №2.- С. 6-8.
- 31.Енергоефективність та відновлювані джерела енергії / С. М. Бевз [та ін.]; під заг. ред. А. К. Шидловського: - НАН України, Підприємство "Укренергозбереження". - К. : Українські енциклопедичні знання, 2007. - 560 с. - ISBN 978-8578-08-3
- 32.Денисюк С.П. Принципи побудови автономних систем енергопостачання на базі нетрадиційних джерел енергії / Денисюк С.П. - Новітні технології в сфері нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії, №2. - К.: Державний комітет з енергозбереження України, НАН України, АТ "Укренергозбереження", 1999. - С.39-42.концепции Smart Grid / Б.Б. Кобец, И.О. Волкова. – М.: ИАЦ Энергия, 2010. – 208 с.

33. Праховник А.В. Розосереджена генерація: стан і перспективи / А.В. Праховник, В.А. Попов, В.В. Ткаченко, Ф.А. Farret, L. Canha, S. Frieta // Новини енергетики. – 2003. – № 3-1. – С. 54–58. 116
34. Мхитарян Н.М. Энергетика нетрадиционных и возобновляемых источников. – К: Наукова думка, 1999. – 320 с.
35. Комплексное использование нетрадиционного энергетического сырья и эффективность региональной энергетики / Е.И. Сухин – К.: Знання України, 2005. – 63 с.
36. Planning for Renewable Energy A Companion Guide to PPS22 / Office of the Deputy Prime Minister. – England, 2004. – 185 p. – ISBN 1851127542
37. Faninger G. Economic Perspectives of Renewable Energy Systems / G. Faninger // Vienna University of Technology. – Klagenfurt, 2011. – 119 p.
38. The contribution of renewable energy to a sustainable energy system/ M.A. Uytterlinde, G.H., H. Rösler, N. Kouvaritakis, V. Panos [and others] // Energy research Centre at the Netherlands. – 2005. – 146 p
39. Казак В. М. Оцінка ефективності використання вітрової та сонячної енергетики в Україні / В. М. Казак, Я. М. Панченко, К. В. Ковбій // Наукоємні технології. - 2009. № 3–4 (7–8). – С. 81-85.
40. Гнеденко Б.В., Колмогоров А.Н. Предельные распределения для сумм независимых случайных величин. - М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1949. - 264с.
41. Ларин В. Состояние и перспективы применения возобновляемых источников энергии. Характеристика возобновляемой энергетики. Некоторые рекомендации. Материалы международного семинара в г. Москва 14-15 апреля 2006г. "Региональные возможности и проблемы возобновляемой энергетики России". - М.: Scientific Press, 2006. - 107с.
42. Fisher R.A., Corbet A.S., Williams CD. The relation between the number of species and the number of individuals in a random sample of an animal population. - Journal of Animal Ecology, 1943, No. 12. - P.42-58.