

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Сумський державний університет
Факультет технічних систем та енергоефективних технологій
Кафедра екології та природозахисних технологій

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Леонід ПЛЯЦУК
(підпис)

_____ 20__ р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття освітнього ступеня магістр
зі спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища» освітньо-
професійної програми «Технології захисту навколишнього середовища»
на тему:

ТЕХНОЛОГІЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ КОГЕНЕРАЦІЇ НА
БІОГАЗОВИХ СТАНЦІЯХ

Здобувача групи ТС.м-31/2 Тихонова Григорія Олександровича

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

_____ Григорій ТИХОНОВ
(підпис)

Керівник – доцент кафедри екології
та природозахисних технологій,
канд, техн. наук

_____ Ігор РОЙ
(підпис)

Суми – 2024

Сумський державний університет
Факультет технічних систем та енергоефективних технологій
Кафедра екології та природозахисних технологій
Спеціальність 183 Технології захисту навколишнього середовища

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Завідувач кафедру _____
“ _____ ” _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Тихонова Григорія Олександровича

1. Тема проекту (роботи) Технології оптимізації процесів когенерації на біогазових станціях затверджена наказом по університету від “14” жовтня 2024 р. №1048-VI
2. Термін здачі студентом закінченого проекту (роботи) 12 грудня 2024 року
3. Вихідні дані до проекту (роботи) перелік наукових робіт за темою когенерації та отримання біогазу із відходів тваринництва, аналітика, літературні джерела та посилання, нормативно-правові акти
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їй належить розробити) Аналіз сучасного стану виробництва біогазу в Україні, розвиток ВДЕ в Україні, стан розвитку біогазового виробництва в Україні на сьогодні, структура сировини для біогазового виробництва в Україні, оцінка скорочення викидів парникових газів, класифікація та огляд існуючих когенераційних установок, класифікація та основні показники ефективності когенераційних установок, порівняльна характеристика когенераційних систем, аналіз газопоршневих установок для біогазових комплексів, аналіз ринку газопоршневих установок для використання біогазу, вдосконалення використання когенераційної установки, охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях, небезпечні фактори у зоні робочого приміщення.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов’язкових креслень) Ціль і мета роботи, предмет і об’єкт дослідження, Аналіз сучасного стану виробництва біогазу в Україні, Структура сировини для біогазового виробництва в Україні, Оцінка скорочення викидів парникових газів, Класифікація та огляд існуючих когенераційних установок, Аналіз газопоршневих установок для біогазових комплексів.

5. Консультанти по проекту (роботі), із значенням розділів проекту, що стосуються їх

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	Фалько В. В.		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Розділ 1 Аналіз сучасного стану виробництва біогазу в Україні	Жовтень 2024 р.	
2	Розділ 2 Класифікація та огляд існуючих когенераційних установок	Жовтень-Листопад 2024 р.	
3	Розділ 3 Аналіз газопоршневих установок для біогазових комплексів	Листопад 2024 р.	
4	Розділ 4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Грудень 2024 р.	
5	Оформлення роботи	08-12.12.2024	

6. Дата видачі завдання 21.10.2024 року

Студент _____

Г. О. Тихонов

Керівник проекту _____

І.О. Рой

АНОТАЦІЯ

Структура та обсяг випускної кваліфікаційної роботи магістра.

Робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку посилань, який містить 97 найменувань. Загальний обсяг кваліфікаційної роботи магістра становить 55 с., у тому числі 5 таблиць, 12 рисунків, перелік посилань на 38 джерел.

Мета роботи - розроблення схеми удосконалення використання когенераційних установок на біогазових установках.

Для досягнення зазначеної мети дослідження в магістерській роботі вирішуються такі задачі:

- аналіз біогазового потенціалу України;*
- аналіз конструкцій когенераційних установок;*
- аналіз ринку газопоршневих установок що працюють на біогазі.*

Об'єктом дослідження є біогазові установки.

Предметом дослідження є процеси когенерації на біогазових станціях.

Методи дослідження: аналіз, синтез, наукова абстракція, порівняння, систематизація, логічне узагальнення, моделювання.

Ключові слова: БІОГАЗ, ГАЗОПОРШНЕВА КОГЕНЕРАЦІЙНА УСТАНОВКА, СТАЛІЙ РОЗВИТОК, БІОГАЗОВА УСТАНОВКА, ДИГЕСТАТ.

ЗМІСТ

Вступ.....	5
Розділ 1 Аналіз сучасного стану виробництва біогазу в Україні.....	7
1.1 Розвиток ВДЕ в Україні	7
1.2 Стан розвитку біогазового виробництва в Україні.....	1
1.3 Структура сировини для біогазового виробництва в Україні	12
1.4 Оцінка скорочення викидів парникових газів.....	14
Розділ 2 Класифікація та огляд існуючих когенераційних установок	18
2.1 Класифікація та основні показники ефективності когенераційних установок.....	18
2.2 Порівняльна характеристика когенераційних систем	25
Розділ 3 Аналіз газопоршневих установок для біогазових комплексів	30
3.1 Аналіз ринку газопоршневих установок для використання біогазу.....	30
3.2 Вдосконалення використання когенераційної установки.....	41
Розділ 4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.....	44
4.1 Небезпечні фактори у робочій зоні приміщення	44
4.2 Пожежна безпека на біогазовій установці.....	46
4.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях на досліджуваному об'єкті	48
Висновки	51
Перелік джерел посилань	52

Підп. і дата		Інв. №дубл.		Взаєм. інв. №		Підп. і дата		ТС 23510314						
Інв. №подл.		Вип.		Арк.		№ докум.		Підп.		Дат		Технології оптимізації процесів когенерації на біогазових станціях Літ. Аркуш Аркушів 4 55 СумДУ, ф-т ТеСЕТ гр. ТС.м-31/2		
		Розроб.		Тихонов										
		Перев.		Рой										
		Н.Контр		Батальцев										
		Затв.		Пляцук										

виробництво теплової та електричної енергії», який дозволяє продавати надлишок електроенергії за "зеленим" тарифом, діючим до 2030 року. Це створює додаткові можливості для отримання доходу та одночасно сприяє покращенню екологічних показників підприємства [4].

Мета дослідження полягає у розробленні схеми удосконалення використання когенераційних установок на біогазових установках.

Завдання дослідження включають:

- аналіз поняття та сутності когенерації;
- дослідження типів та принципів роботи когенераційних установок;
- аналіз поточного стану ринку біогазових установок в Україні;
- вивчення можливостей застосування різних когенераційних технологій на біогазових станціях;
- оцінка питань охорони праці під час експлуатації когенераційних установок.

Об'єкт дослідження: біогазові установки.

Предмет дослідження: процеси когенерації на біогазових станціях.

Методи дослідження:

- аналіз, синтез та абстракція — для розробки теоретичного підґрунтя;
- порівняння, систематизація, логічне узагальнення — для аналізу інноваційних технологій у сфері виробництва гнучкого пакування;
- моделювання — для створення SWOT-аналізу.

Практичне значення результатів. Дослідження може бути корисним для підприємств, що розробляють і використовують біогазові установки. Застосування когенераційних технологій дозволить оптимізувати виробничі процеси, знизити екологічне навантаження і підвищити прибутковість завдяки ефективному використанню ресурсів.

Підп. і дата	
Інв.№дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 23510314

Арк

6

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ В УКРАЇНІ

1.1 Розвиток ВДЕ в Україні

З огляду на ключову роль енергетичного сектору для національної економіки, Україна стикається зі значними викликами у сфері його розвитку. Серед основних проблем — низька ефективність та висока енергоємність (у 2,6 раза перевищує середній показник країн ОЕСР та у 3,2 раза — середній рівень 28 країн ЄС) [5]. Українська економіка залишається однією з найбільш вуглецеємних у світі (у 2015 році країна посідала 9-те місце серед понад 160 держав) [5]. Додаткові труднощі включають залежність від імпорту енергоресурсів, зниження видобутку вітчизняного викопного палива, несприятливий інвестиційний клімат і не завжди ефективне нормативно-правове регулювання.

Для вирішення цих проблем необхідно вдосконалювати енергетичну, соціальну та економічну політику. У цьому контексті особливої ваги набуває розвиток відновлюваної енергетики, зокрема біоенергетики, що може допомогти подолати перелічені виклики. Протягом останніх років Україна, як член Енергетичного співтовариства і сторона Договору про асоціацію з ЄС, здійснила низку заходів для стимулювання розвитку відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). Зокрема, у 2014 році урядом було затверджено план імплементації Директиви Європейського Парламенту та Ради 2009/28/ЄС [6], а також Національний план дій з розвитку відновлюваної енергетики до 2020 року (НПДВЕ) та супровідний План заходів [7]. Мета НПДВЕ полягала в тому, щоб досягти 11% споживання енергії з ВДЕ у загальному кінцевому енергоспоживанні до 2020 року (порівняно з 3,8% у 2009 році). План передбачав, що частка тепла з ВДЕ становитиме 12,4%, електроенергії — 11%, а використання ВДЕ у транспортному секторі — 10% [7].

Підп. і дата
Інв.№дубл.
Взаєм.інв.№
Підп. і дата
Інв.№подл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 23510314

Арк

7

За оцінками Держенергоефективності, для досягнення цих цілей необхідно було залучити близько 18 мільярдів євро інвестицій, з яких 9,5 мільярда євро — у сектор електроенергетики та 7,7 мільярда євро — в опалення та охолодження [8].

Станом на кінець 2020 року цілі НПДВЕ щодо розвитку сонячної енергетики було перевиконано майже втричі. Однак у секторах вітроенергетики та біоенергетики досягнуті показники залишилися значно нижчими за планові — на 40% та 80% відповідно. Як результат, загальна частка відновлюваних джерел енергії на кінець 2020 року склала 9,2%.

Внаслідок вторгнення Російської Федерації в Україну у 2022 році близько 25% встановлених потужностей відновлюваної енергетики опинилися в окупації. Особливо постраждали вітрові електростанції — 75% або приблизно 1,25 ГВт їхніх потужностей знаходяться на окупованих територіях Херсонської та Запорізької областей (з урахуванням потужностей, захоплених до 2022 року, ця цифра становить 1,4 ГВт). Також близько 14% сонячних електростанцій (понад 0,6 ГВт) перебувають під окупацією.

Незважаючи на ці виклики, частка відновлюваної енергетики залишається значною. У 2023 році близько 10% електроенергії в Україні було вироблено з енергії сонця та вітру. З урахуванням виробництва електроенергії великими гідроелектростанціями, ця частка зросла до 20,3%, що перевищує довоєнні показники.

Протягом 2022–2023 років в Україні було введено в експлуатацію понад 650 МВт нових потужностей у сфері відновлюваної енергетики, зокрема (рис.1.1):

- 371 МВт сонячних електростанцій (із них 287 МВт встановлено приватними домогосподарствами);
- 227 МВт вітрових електростанцій;
- 50 МВт об'єктів біоенергетики (біомаса та біогаз);
- 1 МВт малих гідроелектростанцій.

Підп. і дата	
Інв.№дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 23510314

Арк

8

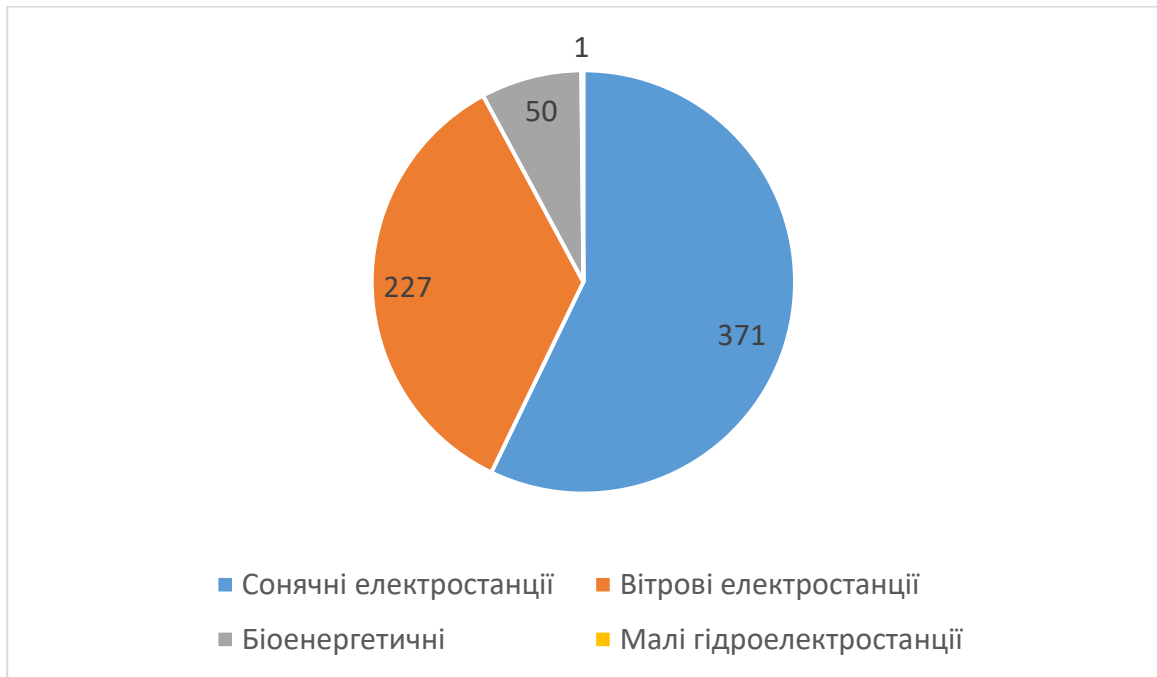


Рисунок 1.1. Потужності ВДЕ введенні в Україні протягом 2022-2023 років

Світовий ринок біогазу демонструє швидке зростання, що сприяє його активному використанню в енергетиці. В Україні розвиток біогазового сектору потенційно дозволить заміщувати 2,6–18 млрд куб. м природного газу щорічно. Це сприятиме підвищенню енергетичної безпеки, створенню нових робочих місць, економічному розвитку регіонів, покриттю пікових навантажень у мережах, утилізації аграрних і харчових відходів.

Поштовх для розвитку біогазових проєктів в Україні забезпечило запровадження "зеленого" тарифу на біогаз у 2013 році. Проте розмір цього тарифу залишається невеликим і має тенденцію до подальшого зниження. Значний потенціал виробництва біометану в Україні зумовлений достатніми сировинними ресурсами, розвиненою системою газопостачання та широким доступом до неї (близько 70% населення). Це створює технічні передумови для підключення виробників біометану до локальних газорозподільчих мереж [9].

Станом на 2014 рік біоенергетика в Україні заміщувала 1,93 млрд куб. м природного газу щорічно. Згідно з програмними документами, до 2020 року цей показник мав зрости до 7,2 млрд куб. м завдяки використанню аграрних відходів,

Підп. і дата	
Інв. Неподрл.	
Взаєм. інв. №	
Інв. Неодубл.	
Підп. і дата	
Вип	Арк
№ докум.	Підп.
Дат	

ТС 23510314

Арк

9

енергетичних культур та кукурудзи для виробництва біогазу. Для досягнення цих цілей необхідно стимулювати внутрішнє виробництво обладнання, розвивати ринок біомаси та проводити інформаційні кампанії.

Дослідження свідчать, що використання біогазу може частково покрити попит на природний газ і сприяти сталому розвитку, мінімізуючи негативний вплив на довкілля. Ефективне управління відходами та їхнє використання для виробництва енергії дозволяє скорочувати викиди парникових газів і забезпечувати енергетичну віддачу навіть для невеликих біогазових установок. [10, 12, 13].

У 2019 році викиди CO₂ від спалювання енергоресурсів для виробництва електроенергії та тепла склали 90,3 млн тонн, що дорівнює 43% від загального обсягу викидів CO₂ в Україні. Транспортний сектор спричинив 14,4% (29,9 млн тонн), а сільське господарство — лише 0,3% (0,6 млн тонн) загальних викидів CO₂. У тому ж році викиди метану (CH₄) становили 62,7 млн тонн, закису азоту (N₂O) — 37,2 млн тонн [14], а діоксиду сірки — 830,3 тис. тонн (рис.1.2) [14].

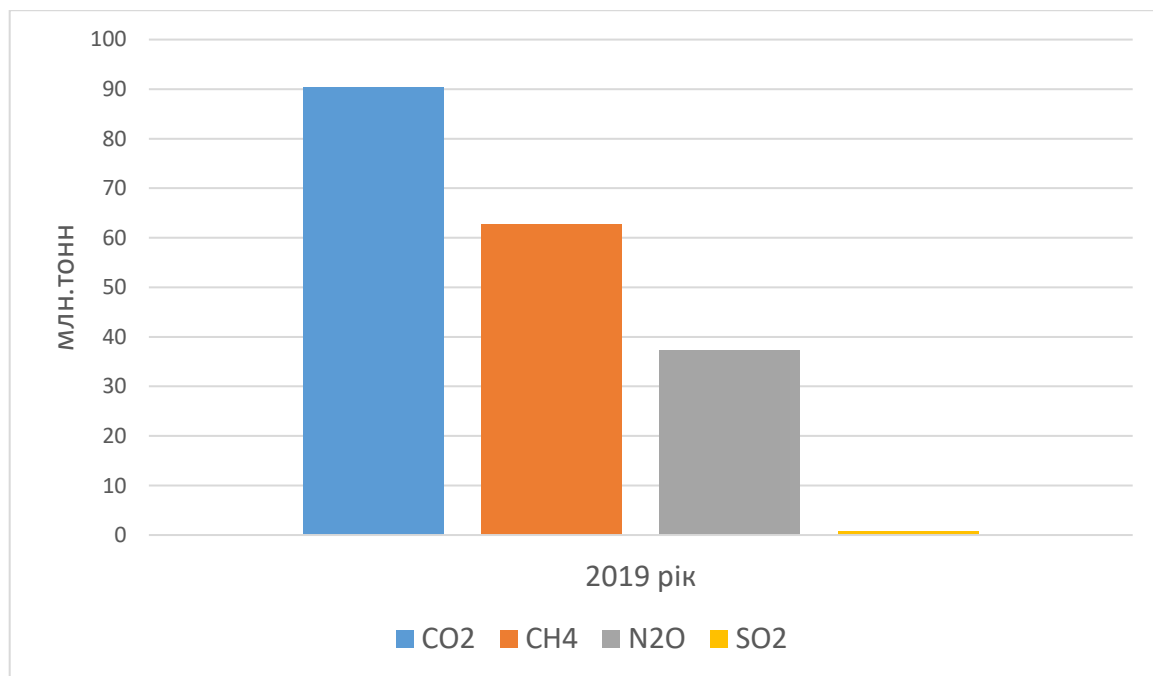


Рисунок 1.2 Обсяги викидів газів при виробництві електроенергії в Україні

Підп. і дата
Інв. №дубл.
Взаєм. інв. №
Підп. і дата
Інв. №подл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат
-----	-----	----------	-------	-----

ТС 23510314

Україна проводить реформи у сфері енергетики для зменшення споживання природного газу та підвищення енергоефективності. Однак країна все ще залишається залежною від імпорту природного газу, ядерного палива та вугілля.

Одним із головних фінансових стимулів для розвитку біогазових проєктів є "зелений" тариф (ЗТ), впроваджений Законом України "Про електроенергетику" та продовжений у Законі України "Про ринок електричної енергії". Згідно з цим законом, коефіцієнти ЗТ мали зменшитися на 20% у 2019 році та на 30% у 2024 році. Електроенергія, вироблена з відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), не підлягає акцизному оподаткуванню.

Закон України "Про внесення змін до Закону України "Про електроенергетику" щодо сприяння виробництву електроенергії з альтернативних джерел енергії" (2012 р.) зобов'язує виробників електроенергії з ВДЕ надавати споживачам Гарантію походження електроенергії. Цю вимогу було затверджено відповідним указом Кабінету Міністрів України. Гарантія походження підтверджує тип джерела енергії та обсяг електроенергії, що підпадає під "зелений" тариф, забезпечуючи прозорість для споживачів.

1.2 Стан розвитку біогазового виробництва в Україні

Згідно з даними Держенергоефективності, на 1 січня 2020 року в Україні функціонували 49 біогазових установок, що генерують енергію за «зеленим» тарифом. Сукупна встановлена потужність цих установок досягла 86 МВт, що майже у п'ять разів перевищує показник кінця 2015 року (18 МВт). З цієї кількості 21 установка (59 МВт) використовує відходи сільського господарства, а 28 установок (27 МВт) працюють на основі твердих побутових відходів.

Протягом 2018 року було введено в експлуатацію біогазові установки загальною потужністю 12 МВт (12 установок), а у 2019 році — 40 МВт (16 установок). За даними НКРЕКП, біогазові установки виробили 247 млн кВт·год

Підп. і дата	
Інв.№дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 23510314

Арк

11

електроенергії у 2019 році. Це свідчить про те, що темпи зростання біогазових потужностей у 2019 році були в 3,5 рази вищими за показники 2018 року.

Загальний обсяг інвестицій у біогазовий сектор за період з 2012 по 2019 роки склав 140 млн євро.

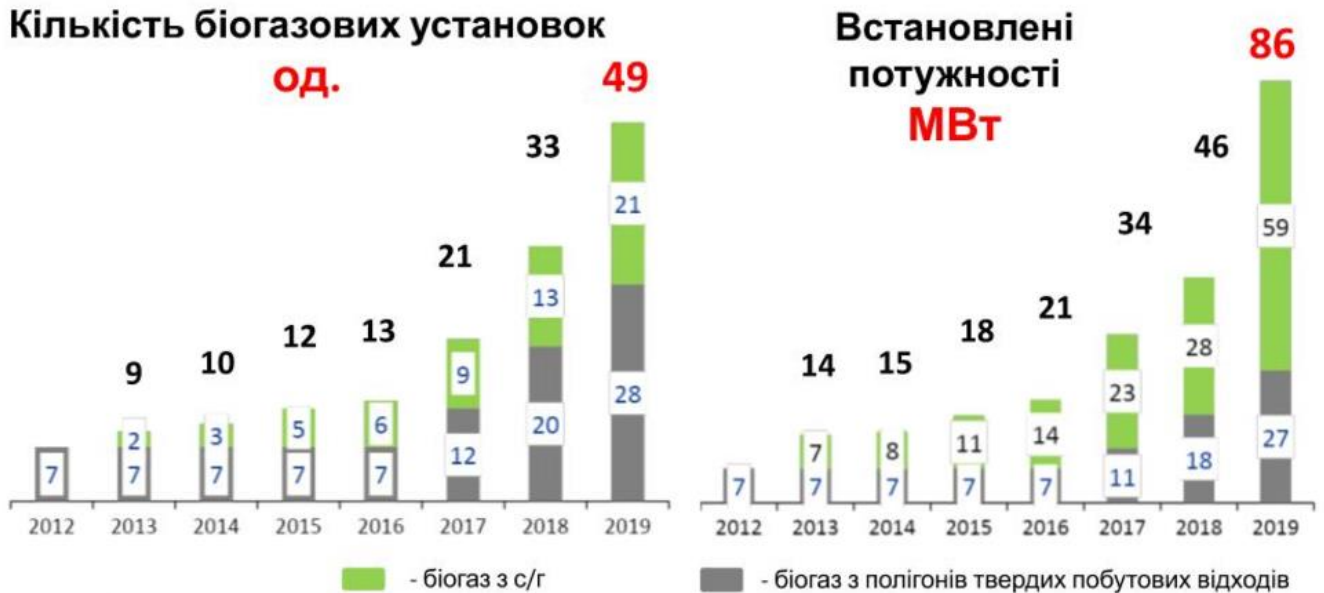


Рисунок 1.3 Динаміка зростання біогазових потужностей в Україні за 2012-2019 роки.

1.3 Структура сировини для біогазового виробництва в Україні

В Україні для виробництва біогазу використовують переважно п'ять основних видів сировини: свинячий гній, гній великої рогатої худоби (ВРХ), курячий послід, жом цукрових буряків та кукурудзяний силос. За даними UABIO [16], ці види сировини складають близько 97% загальної свіжої маси, що використовується (Рис. 1.4). Виробництво біогазу з них забезпечує близько 92% загального обсягу біогазу (Рис. 1.5). Найбільше біогазу наразі отримують із жому цукрових буряків (39,8%) та кукурудзяного силосу (38,4%).

Інші види сировини, такі як полова зернових культур, меляса, жирові флотошлами та деякі інші компоненти, використовуються у невеликих кількостях.

Підп. і дата
Інв. Нодубл.
Взаєм. інв. №
Підп. і дата
Інв. Неподл.

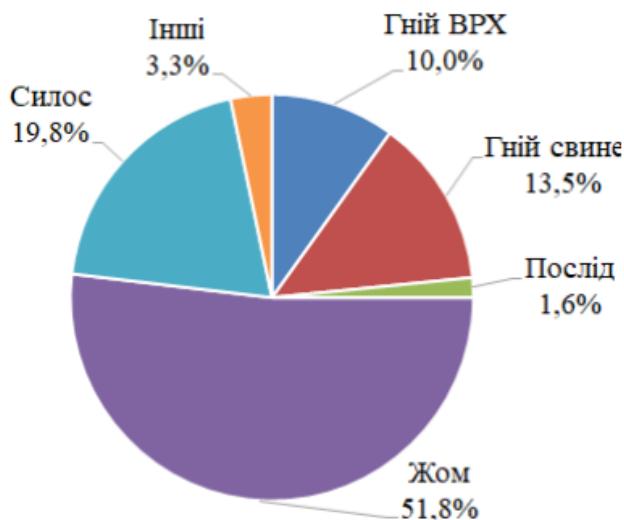


Рисунок 1.4 Структура споживання свіжої маси сировини для виробництва біогазу, 2020 р.

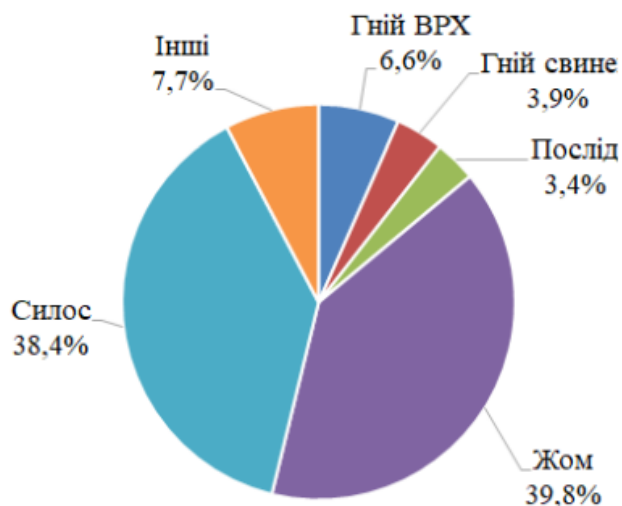


Рисунок 1.5 Структура обсягів виробництва біогазу за видами сировини, 2020 р.

Нещодавно з'явилися перспективні проекти з використання соломи зернових та стебел кукурудзи для біогазового виробництва. Також відомі випадки отримання біогазу зі стічних вод промислових підприємств, наприклад, під час виробництва пива, чіпсів, дріжджів чи картону. Осади комунальних очисних споруд нині використовуються лише на Бортницькій станції аерації. У той же час, розробляються плани з виробництва біогазу на інших великих очисних станціях, таких як у Харкові та Львові.

На сьогодні не реалізовано жодного проекту з використання органічної фракції твердих побутових відходів для біогазу чи біометану. За оцінками UABIO [16], потенціал використання гною ВРХ наразі задіяний лише на 4%, свинячого гною — на 6%, курячого посліду — на 1%, а жому — на 20%. Потенціал інших видів сировини освоєний на рівні 1-2%, а більшість сировинних ресурсів досі не використовуються взагалі. Це вказує на значний потенціал для розширення виробництва біогазу та біометану з усіх видів сировини.

Підп. і дата	
Інв.№дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 23510314

Арк

13

1.4 Оцінка скорочення викидів парникових газів

У результаті заміщення викопного палива біогазом у когенераційних установках проводилася за методикою національної інвентаризації викидів парникових газів. Розрахунки базувалися на коефіцієнтах, зазначених у Національному кадастрі антропогенних викидів та абсорбції парникових газів за 1990–2015 роки [15], відповідно до Керівних принципів МГЕЗК 2006 року [17]. Детальний потенціал використання біогазу представлено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 Потенціал отримання біогазу в Україні

Роки	Млн.куб.м	ТДж	Млн. т. н.е.
2017	207	4547	0,1086
2018	413	9094	0,2172
2019	620	13642	0,3258
2020	827	18189	0,4344
2021	1033	22736	0,5431
2022	1240	27283	0,6516
2023	1447	31831	0,7603
2024	1654	36378	0,8689
2025	1860	40925	0,9775
2026	2067	45472	1,0861
2027	2274	50020	1,1947
2028	2480	54567	1,3033
2029	2687	59114	1,4119
Разом	18809	413798	9,8834

Київський протокол визначає норми щодо викидів шести основних парникових газів: вуглекислого газу (CO₂), метану (CH₄), закису азоту (N₂O), гексафториду сірки (SF₆), перфторвуглеців (PFCs) і гідрофторвуглеців (HFCs). Згідно з даними Національного кадастру викидів парникових газів та їх поглинання в Україні за період 1990–2015 років, основна частка викидів належить до CO₂, CH₄ і N₂O, які сумарно становлять 99,74% загальної структури викидів:

Підп. і дата					Арк
Інв.№дубл.					14
Взаєм.інв.№					Арк
Підп. і дата					Арк
Інв.№подл.					Арк
<p style="text-align: center;">ТС 23510314</p>					Арк
<p>Вип Арк № докум. Підп. Дат</p>					14

CO₂ — 67,4%, CH₄ — 20,3%, N₂O — 12,1%. Інші три гази разом забезпечують лише 0,26% від загальної кількості.

Оцінка скорочення викидів парникових газів під час генерації електроенергії та тепла шляхом заміни традиційного палива біогазом враховує скорочення викидів CO₂, CH₄ та N₂O. Для спалювання 1 ТДж природного газу, наприклад, утворюється 55,35 тис. кг CO₂, 1 кг CH₄ і 0,1 кг N₂O. Потенціал глобального потепління (ПГП) для різних газів враховує їхній час перебування в атмосфері: CO₂ (100 років) має ПГП рівний 1, CH₄ — 25, а N₂O — 298 [18].

Таблиця 1.2 Життєвий цикл і потенціал глобального потепління ПГ

Газ	Час життя (років)	Потенціал глобального потепління за період		
		20 років	100 років	500 років
Діоксид вуглецю	~ 100	1	1	1
Метан	12	72	25	7,6
Закис азоту	114	289	298	153

Використання природного газу в когенераційних установках, як показують дані таблиць 2–3, при споживанні 413 798 ТДж (9,8834 млн т н.е.), спричинило б 11,463 млн т CO₂-екв. викидів, що дорівнює 55,405 т CO₂-екв. на 1 ТДж. Аналогічно, використання вугілля генерує 92,152 т CO₂-екв. на 1 ТДж, а загальний обсяг викидів складав би 19,066 млн т CO₂-екв. Таким чином, заміна викопного палива біогазом дозволить зменшити ці обсяги.

Біогаз може слугувати для когенерації або як паливо для транспортних засобів після очищення. Оптимальним в Україні є використання біогазу для виробництва електроенергії та тепла агропромисловими компаніями із подальшою реалізацією тепла сусіднім домогосподарствам. Такий підхід економічно виправданий в умовах України. Біогазові установки рекомендується розташовувати в регіонах з великою кількістю агровідходів, де недостатньо ресурсів для виробництва енергії з вітру чи сонця.

Підп. і дата
Інв. Неодубл.
Взаєм. інв. №
Підп. і дата
Інв. Неподрл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 23510314

Арк

15

Таблиця 1.3 Викиди ПГ від використання природного газу в когенераційних установках

Роки	Природний газ				
	ТДж	N ₂ O, кг	CH ₄ , кг	CO ₂ , кг	CO ₂ -екв, млн.т
2017	2274	227	2274	125844612	0,126
2018	4547	455	4547	251689223	0,252
2019	6821	682	6821	377533835	0,378
2020	9094	909	9094	503378446	0,504
2021	11368	1137	11368	629223058	0,630
2022	13642	1364	13642	755067669	0,756
2023	15915	1592	15915	8809112281	0,882
2024	18189	1819	18189	1006756892	1,008
2025	20463	2046	20463	1132601504	1,134
2026	22736	2274	22736	1258446115	1,260
2027	25010	2501	25010	1384290727	1,386
2028	27283	2728	27283	1510135338	1,512
2029	29557	2956	29557	1635979950	1,638
Разом	206899	20690	206899	11451859650	11,463

Таблиця 1.4 Викиди ПГ від використання вугілля в когенераційних установках

Роки	Вугілля				
	ТДж	N ₂ O, кг	CH ₄ , кг	CO ₂ , кг	CO ₂ -екв, млн.т
2017	2274	2274	3410	208445058	0,210
2018	4547	4547	6821	416890117	0,419
2019	6821	6821	10231	625335175	0,629
2020	9094	9094	13642	833780234	0,838
2021	11368	11368	17052	1042225292	1,048
2022	13642	13642	20463	1250670351	1,257
2023	15915	15915	23873	1459115409	1,467
2024	18189	18189	27283	1667560468	1,676
2025	20463	20463	30694	1876005526	1,886
2026	22736	22736	34104	2084450585	2,095
2027	25010	25010	37515	2292895643	2,305
2028	27283	27283	40925	2501340702	2,514
2029	29557	29557	44336	2709785760	2,724
Разом	206899	206899	310349	18968500320	19,066

Переваги біогазових установок перед викопним паливом та іншими ВДЕ:

- поєднання сезонних відходів (наприклад, цукрозаводів) із фермерськими дозволяє безперервно виробляти енергію;
- створення робочих місць у малих містах, де цукрозаводи є основними роботодавцями;
- утилізація різноманітних агровідходів;

Підп. і дата
Інв. Неодубл.
Взаєм. інв. №
Підп. і дата
Інв. Неподрл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат
-----	-----	----------	-------	-----

ТС 23510314

1. “Когенерація – використання відведеної теплоти внаслідок виробництва електроенергії. Наприклад, відпрацьованих газів газотурбінної установки для промислових процесів або центрального опалення” [24].

2. “У загальноприйнятому розумінні термін когенерація означає спільне вироблення електричної та теплової енергії в установці, що складається з електрогенератора та утилізатора теплоти.

У класичному розумінні когенерація по суті те саме, що і відома і широко застосовувана теплофікація, тобто використання вторинної теплоти теплоелектростанцій для теплопостачання. Відмінність когенерації від теплофікації достатньо умовна і полягає в масштабі виробітку електроенергії, хоча судячи з літературних даних, вона поступово згладжується. Ця різниця насамперед полягає у типі найчастіше застосовуваного устаткування (в когенераційних установках використовується для приводу електрогенераторів, зазвичай, газові двигуни внутрішнього згоряння чи газові турбіни, а останнім часом – мікротурбіни чи паливні елементи)” [25].

Нам представляється, що в термодинамічному аспекті відмінність когенерації від теплофікації пов'язана з особливостями власне термодинамічних циклів, які реалізуються відповідно в одному випадку як когенераційний, в іншому - теплофікаційний. Цю відмінність легше виявити і вона стає виразною, якщо розглянути та порівняти технологію та термодинамічний цикл когенерації та, відповідно, теплофікації.

У численних когенераційних технологіях і схемах реалізації передбачається використання різних теплових двигунів (нині: двигун внутрішнього згоряння, газотурбінна установка, хоча можуть розглядатися й інші двигуни: термоелектричний, термоемісійний, магнітогідродинамічні генератори). Вони застосовуються для виробництва електроенергії як надбудови, наприклад, над котлами, паротурбінними установками з подальшою утилізацією в них скидної теплоти надбудов та перетворенням таких комбінованих установок на міні-теплоелектроцентральної або парогазові установки. У термодинамічному циклі цих

Підп. і дата
Інв.№дубл.
Взаєм.інв.№
Підп. і дата
Інв.№подл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 23510314

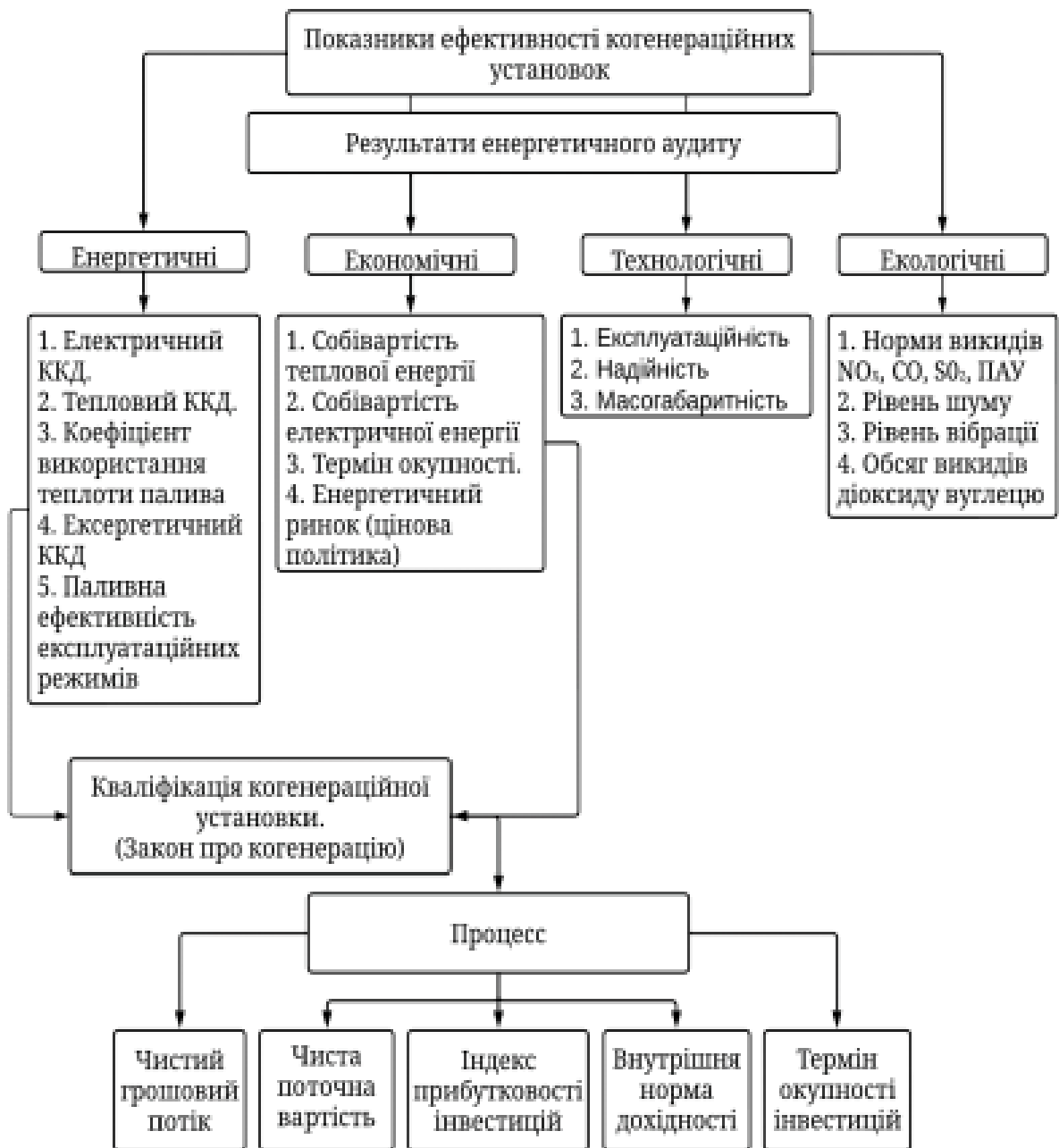


Рисунок 2.1 Показники ефективності когенераційних установок

Економічний ефект при цьому визначається зниженням ексергетичних втрат на першому етапі технологічного процесу (за рахунок повнішого використання ексергії продуктів згорання).

Досить оригінальна когенераційна технологія виробництва теплоти та електроенергії "STIG" (Steam Intention Gas Turbine) і "Водолій", реалізована з

Підп. і дата
Інв. № доубл.
Взаєм. інв. №
Підп. і дата
Інв. № по обл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат
-----	-----	----------	-------	-----

ТС 23510314

Арк

21

використанням як частина робочого тіла водяної пари, що подається в камеру згоряння газової турбіни, отримала назву монарної когенерації [26].

Когенераційні установки використовують додаткове тепло, яке втрачається в традиційних теплових електростанціях, щоб підняти коефіцієнт корисної дії (К.К.Д.). В результаті цього К.К.Д. може сягати 89%, у порівнянні з 55% в найкращих установках без утилізації тепла. Це означає, що для виробництва такої ж корисної енергії потрібно менше палива. При розрахунках економічного ефекту також слід враховувати зменшення забруднення навколишнього середовища.

Визначення кваліфікації когенераційної установки наведено у [27]. До основних показників енергетичної ефективності можна віднести електричний, тепловий та ексергетичний ККД установок, які визначаються відповідно до формул 1.1;1.2;1.3, коефіцієнт використання теплоти палива, який головним чином визначає інтегральну енергоефективність установки, формула 1.4. Методика визначення ексергетичного ККД когенераційних установок представлена в роботі [27].

Електричний ККД :

$$\eta_{el} = \frac{N_{el}}{BQ_P^H} \quad (1.1)$$

Тепловий ККД:

$$\eta_T = \frac{N_{el}}{BQ_P^H} \quad (1.2)$$

Ексергетичний ККД:

$$\eta_{ex} = \frac{E''}{E'} \quad (1.3)$$

Коефіцієнт використання тепла:

$$\eta_Q = \frac{N_{el} + N_T}{BQ_P^H} \quad (1.4)$$

Підп. і дата	
Інв. №дубл.	
Взаєм. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. №подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 23510314

Арк

22

До економічних показників когенераційної установки, яка забезпечує виробництво електричної та теплової енергії, входить наявність ринків збуту для реалізації енергії за тарифами, що відповідають запитам споживачів. Проте під час розрахунку цих показників виникають певні труднощі. Основною проблемою є складність розподілу палива, яке використовується для виробництва різних видів енергії [28]. У такій ситуації доцільно звернутися до оцінок та системи показників паливної ефективності, що застосовуються для аналізу режимів роботи когенераційних установок, як це запропоновано у [29].

Технологічні показники включають експлуатаційний коефіцієнт ефективності. Цей коефіцієнт враховує наявність сучасних систем автоматизації (АСУ ТП), можливість роботи установки у різних режимах, а також потребу у персоналі відповідної кваліфікації. Залежно від типу когенераційної установки, може змінюватися як кількість працівників, так і їх професійний рівень.

Показник надійності визначається ресурсом роботи установки до проведення капітального ремонту та її ремонтпридатністю. На надійність установки впливають не лише її тип, але й виробник обладнання, якість проектування та монтажу.

На рисунку 2.2 наведена класифікація сфер застосування когенераційних установок різних типів. Крім того, структурна схема когенераційних технологій представлена на рисунку 2.3.

Підп. і дата	
Інв. №дубл.	
Взаєм. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. №подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 23510314

Інв.№подл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата

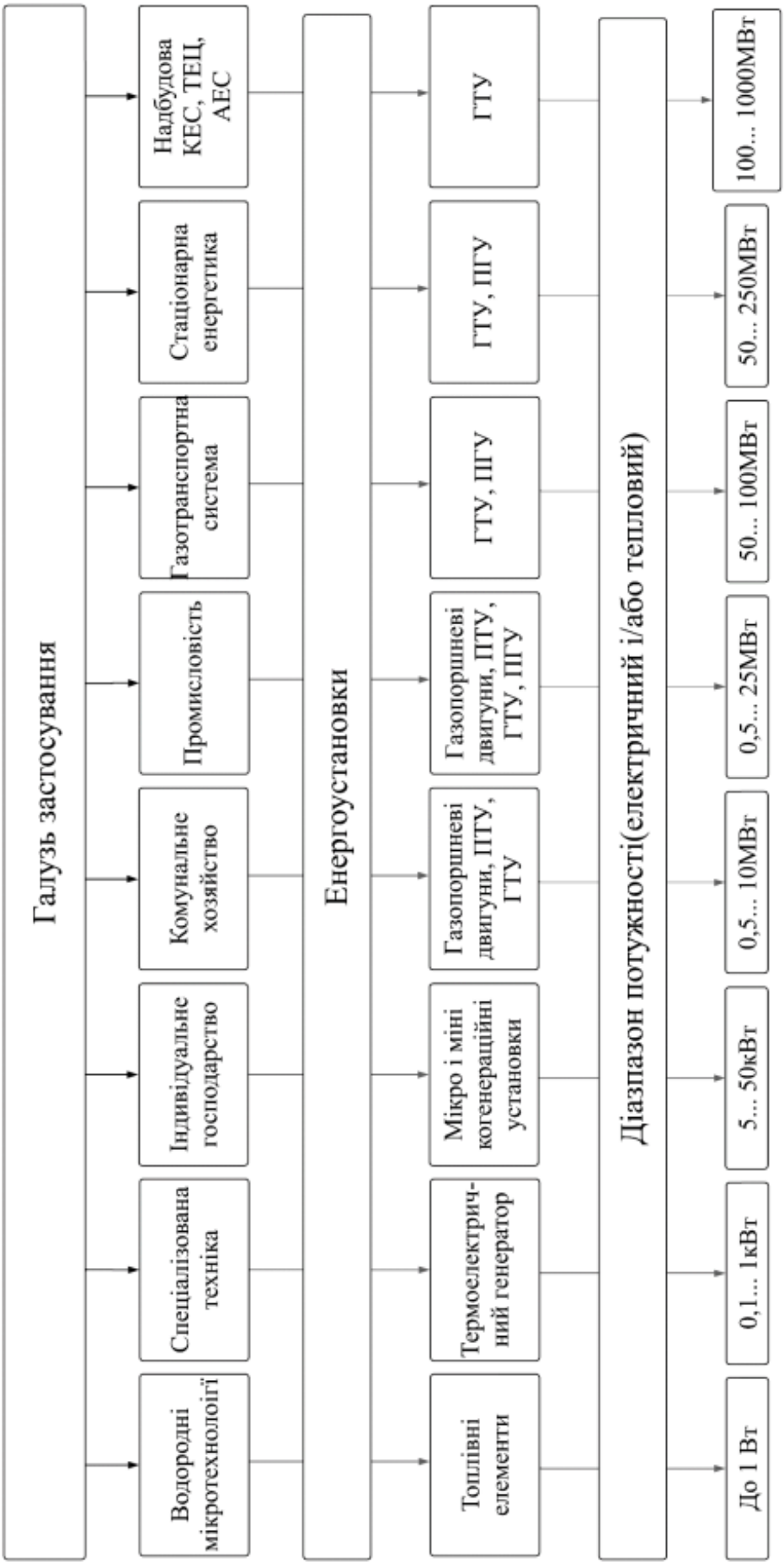


Рисунок 2.2. - Галузі застосування когенераційних установок

ТС 23510314

2.2 Порівняльна характеристика когенераційних систем

Когенераційні системи складаються з наступних основних частин:

- двигун (основний); - електричний генератор;
- утилізатор теплової енергії;
- модуль управління.

Класифікація когенераційних систем за типами основного двигуна і генератора, а також за типом палива, допомагає вибрати оптимальний варіант для конкретних потреб та умов. Порівняння різних типів систем дозволяє знайти баланс між витратами та вигодами, що є важливим для ефективного використання когенерації.

2.2.1 Парові турбіни

Робота парових турбін у промислових когенераційних системах базується на використанні утвореної пари від парового котла. За високого тиску пара розширюється, проходячи через лопатки турбіни, і це призводить до обертання турбіни. Отримана механічна енергія використовується генератором для вироблення електроенергії.

Щодо ефективності парових турбін, важливим аспектом є те, що їхня коефіцієнт ефективності в частині генерації електроенергії вважається одним з **найнижчих** серед розглянутих технологій (від 7 до 20%). Тим не менш, в межах когенераційних систем загальна ефективність може досягати 80%, обчислювана на одиницю витраченого палива (за теплотворною здатністю).

Це підтверджує, що парові турбіни ефективно працюють у сферах, де велика потреба в тепловій енергії порівняно з електричною. Зазвичай такі системи використовуються для виробництва понад 500 кВт електроенергії та більше. Для біогазової установки така когенераційна установка не підходить. Бо головною метою роботи когенераційної установки в цих умовах є генерування електричної енергії, отримання тепла є вторинним аспектом.

Підп. і дата	
Інв.№дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 23510314

Арк

26

Тому більш докладно зупинимось на порівнянні двої інших конструкцій – газотурбінної та газопоршневої.

2.2.2 Газотурбінні установки

Одним із важливих критеріїв, що характеризують ефективність газотурбінних електростанцій, є ККД. У газотурбінного двигуна ККД складає до 38%, проти 43% у газопоршневого. При порівнянні систем з турбінними та поршневими установками вважається, що використання турбін є доцільним лише при лінійних потребах у теплі та електриці, потужність яких перевищує 10 МВт. Номінальний ККД обох видів установок приблизно рівний (82-90%) – різниця лише у розподілі ККД між електрикою та теплом і можливості гнучкого управління виробництвом обох підсумкових продуктів – електрики та тепла.

п'ять різних технологічних підходів для побудови когенераційних установок

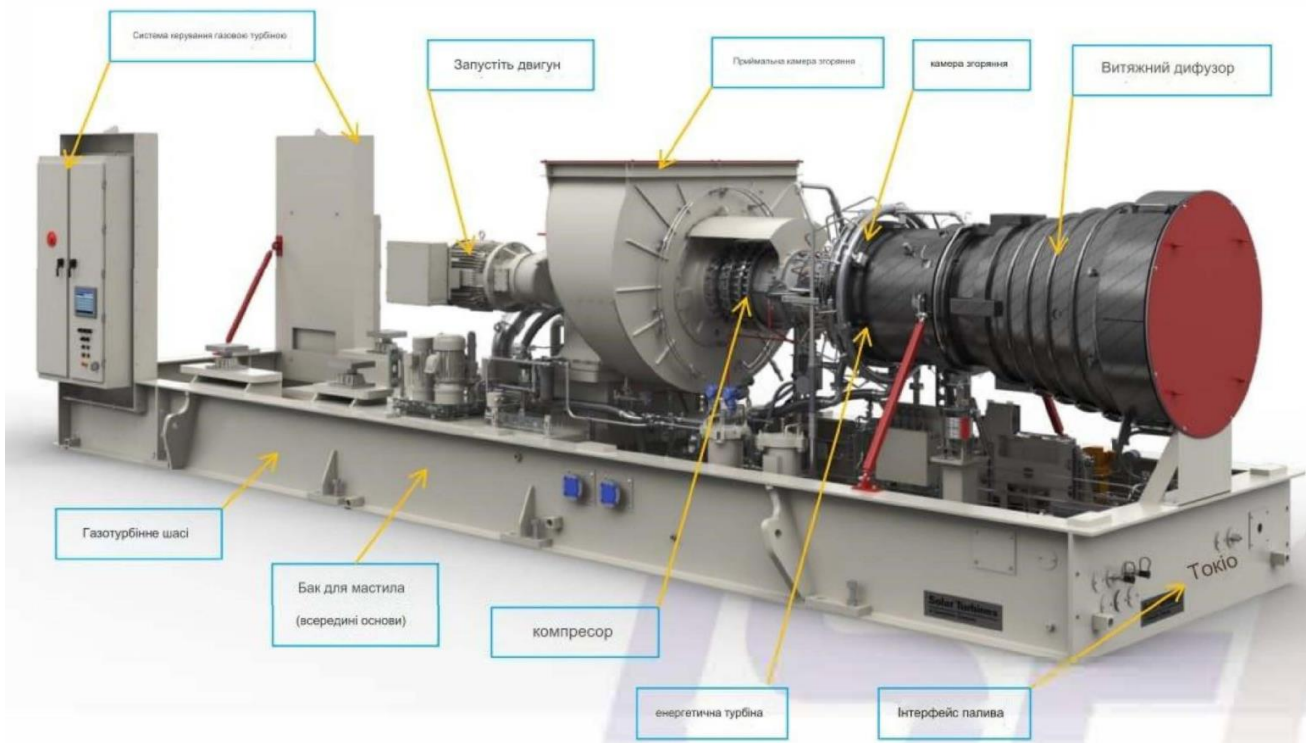


Рисунок 2.2 Загальний вигляд газотурбінної установки

Співвідношення теплової енергії до електричної у газових турбін становить від 1,5:1 до 2,5:1 на відміну від сучасних газопоршневих систем де це відношення складає 1:1.

Підп. і дата
Інв. Неодубл.
Взаєм. інв. №
Підп. і дата
Інв. Неодубл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат
-----	-----	----------	-------	-----

ТС 23510314

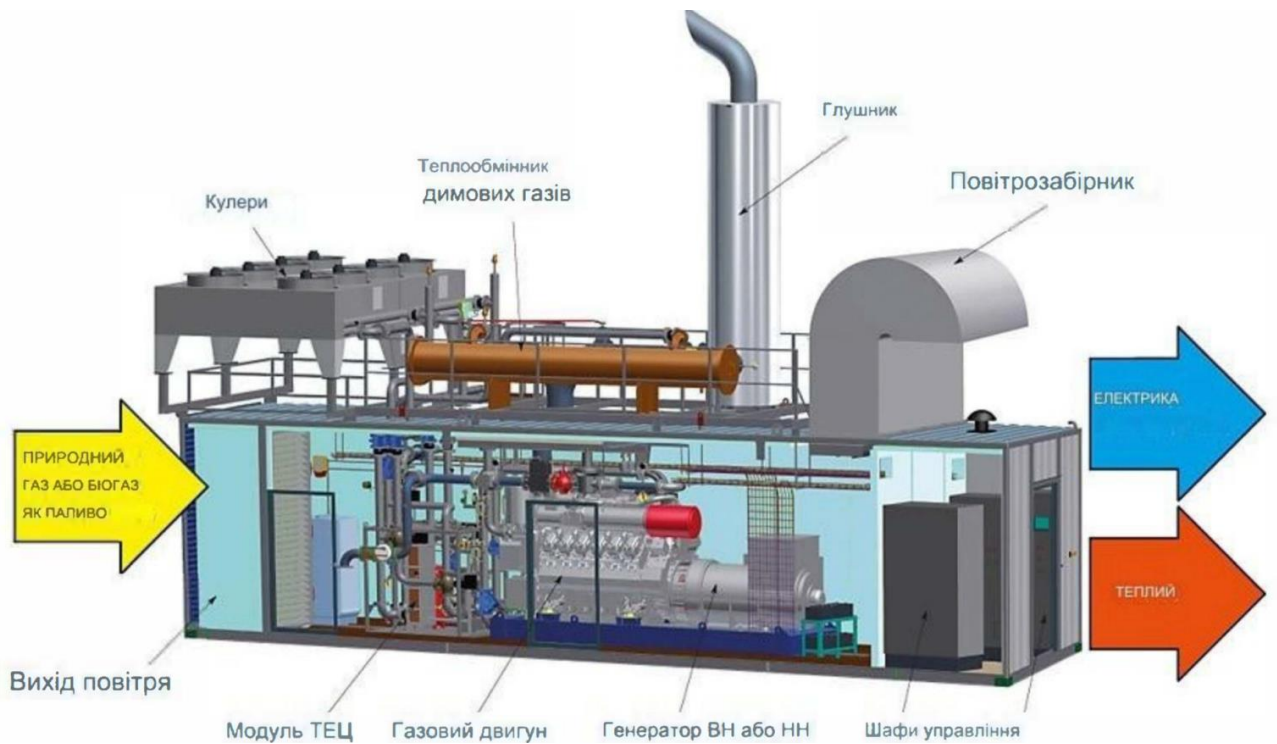


Рисунок 2.3 Загальний вигляд газопоршневої когенераційної установки

Наразі ситуація в Україні така, що до середини 2024 року єдина змонтована газотурбінна установка в Україні досі не введена в експлуатацію, при тому що працюючих газопоршневих установок введено в експлуатацію понад 200 одиниць. Основні проблеми газотурбінних систем пов'язані з тривалим терміном виготовлення – близько 2 років, а також складністю монтажу та пусконаладження. Враховуючи, що газотурбінна установка значно технологічніша, для її комплексного обслуговування часто залучаються фахівці заводу-виробника (Caterpillar, Siemens, Jenbacher (концерн General Electric), MTU (концерн Rolls-Royce)). Це досить проблематично в українських реаліях і дорожче, ніж обслуговування звичайного газопоршневого двигуна.

Підп. і дата	
Інв.№дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат
-----	-----	----------	-------	-----

ТС 23510314

РОЗДІЛ 3

АНАЛІЗ ГАЗОПОРШНЕВИХ УСТАНОВОК ДЛЯ БІОГАЗОВИХ КОМПЛЕКСІВ

3.1 Аналіз ринку газопоршневих установок для використання біогазу

Газопоршневі установки (ГПУ) мають діапазон одиничних потужностей від 0,1 до декількох мегаватів. Загальний моторесурс цих установок становить близько 250 000 годин, а ресурс до капітального ремонту — від 60 000 до 80 000 годин. Окрім тривалого моторесурсу, до переваг ГПУ відносяться мала залежність ККД від температури навколишнього середовища, низький тиск паливного газу (0,01–0,035 МПа), що не потребує дотискного компресора, мінімальне зниження ККД при навантаженні до 50%, а також необмежена кількість запусків. Інші переваги газопоршневих установок включають можливість проведення ремонту на місці, низькі експлуатаційні витрати та компактні розміри, що знижують інвестиційні витрати. Крім того, існує можливість кластеризації, тобто одночасної роботи кількох установок.

Ключовим фактором при виборі ГПУ є аналіз складу палива. Виробники газових двигунів встановлюють специфічні вимоги до якості та складу палива для кожної моделі. Основні характеристики включають:

- Метанове число газу (відсоток метану в об'ємі газу);
- Нижчу та вищу теплоту згоряння;
- Ступінь детонації;
- Вміст сірки.

На сьогоднішній день багато виробників адаптують свої двигуни під різні види палива, що зазвичай не потребує значних фінансових витрат та часу.

Крім природного газу, газопоршневі установки можуть працювати на різних видах палива, таких як пропан, бутан, попутний нафтовий газ, гази хімічної

Підп. і дата
Інв.№дубл.
Взаєм.інв.№
Підп. і дата
Інв.№подл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 23510314

Арк

30

промисловості, коксовий газ, деревний газ, піролізний газ, газ сміттєвих звалищ та газ стічних вод. Використання цих специфічних газів сприяє збереженню навколишнього середовища та дозволяє використовувати відновлювані джерела енергії.

Переваги газопоршневих установок включають простоту конструкції, надійність та високий ККД. Електричний ККД ГПУ на природному газі становить приблизно 41–43%. Багато моделей ГПУ експлуатуються в режимі когенерації (як теплоелектростанції), де температура вихлопних газів становить близько $390 \pm 10^\circ\text{C}$. Ця температура не дозволяє ефективно використовувати тепло, тому співвідношення електричної та теплової енергії становить 1:1, тобто на 1 МВт електричної потужності можна отримати 1 МВт теплової енергії.

Система охолодження ГПУ є рідинною. При використанні води для охолодження необхідна її хімічна підготовка. Витрата моторного масла складає приблизно 0,3–0,95 кг/год на 1 МВт електричної потужності, тому його потрібно регулярно доливати. Для відповідності екологічним вимогам у газопоршневих електростанціях встановлюють каталізатори вихлопних газів. Висота димової труби визначається рівнем гранично допустимих концентрацій (ГДК) у навколишньому середовищі та рівнем шкідливих речовин у емісіях самої установки. Середній рівень шуму від ГПУ становить 75–78 дБ, а сильні вібрації вимагають встановлення спеціальних віброопор.

Вибір газопоршневого електроагрегату залежить від ефективності використання енергії. Будь-яке виробництво електроенергії із спалювання палива супроводжується виділенням тепла. У газопоршневих агрегатах максимальний ККД електричного виробництва складає близько 40%, а тепловий ККД — 40–45%. Таким чином, лише половина енергії використовується корисно, а інша частина розсіюється як тепло.

Використання технологій когенерації та тригенерації змінює цю ситуацію. **Когенераційні установки** одночасно виробляють електроенергію та утилізують тепло двигуна, виробляючи гарячу воду або пару, що підвищує загальний ККД до

Підп. і дата
Інв.№дубл.
Взаєм.інв.№
Підп. і дата
Інв.№подл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 23510314

Арк

31

90%. **Тригенераційні установки** додають до цього виробництво холоду за допомогою абсорбційної технології, що дозволяє підтримувати високий ККД цілодобово, навіть у різні пори року.

Можливість установки декількох агрегатів є додатковою перевагою ГПУ. Секціонування когенераційних установок дозволяє точно регулювати потужність, що підвищує ефективність та продовжує ресурс системи.

Сучасні **газопоршневі двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ)** є основою роботи ГПУ. Вони перетворюють хімічну енергію палива в механічну роботу. На ринку існують два типи поршневих двигунів для роботи на газі: з іскровим запалюванням та газодизельні з уприскуванням запального палива. Газові двигуни стають все більш популярними в енергетиці через зростаючу потребу у дешевшому та екологічно чистішому паливі.

Аналіз ринку газопоршневих електроагрегатів включає розгляд провідних виробників та їх продукції. Розглянемо деякі з них:

3.1.1 Газопоршневі електростанції компанії «Eltesco» (Словаччина)

Газопоршневі електростанції «Eltesco» працюють на природному газі та належать до типу когенераційних установок, які можуть забезпечувати електроенергією як невеликі об'єкти, так і великі промислові підприємства. Потужність цих установок варіюється від 3,8 до 3916 кВт. Висока ефективність використання ресурсів досягається завдяки утилізації тепла, що дозволяє використовувати паливні ресурси на 90% ефективніше. Компактність і універсальність цих установок роблять їх ідеальними для невеликих об'єктів. Економічна ефективність забезпечується меншим споживанням палива порівняно з іншими установками при виробництві тієї ж кількості енергії. Крім того, вони екологічні, оскільки мінімізують викиди шкідливих речовин.

Технічні характеристики газопоршневих електростанцій «Eltesco»:

- Термін служби: 25–30 років;
- Капітальний ремонт після 60 000 мотогодин (10 років);
- Інтервал між технічним обслуговуванням: 1000–1500 мотогодин;

Підп. і дата	
Інв. № доубл.	
Взаєм. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 23510314

Арк

32

- Загальний ККД: до 90%.

Недолік: довгий термін виготовлення, доставки та установки (близько 6 місяців).



Рисунок 3.1 Газопоршнева когенераційна установка «Elteco»

3.1.2 Газопоршневі електростанції компанії «FG Wilson» (Великобританія)

Газопоршневі електростанції FG Wilson можуть працювати як на зрідженому, так і на природному газі, забезпечуючи постійне та резервне енергопостачання будівель. Моделі цієї компанії бувають трифазними і двофазними, оснащені сучасними електронними системами управління, блоками живлення, системами підключення до газопостачання, контрольно-вимірювальною апаратурою та аварійною сигналізацією.

Модельний ряд FG Wilson включає агрегати малої потужності (11–276 кВт) для резервного енергопостачання та середньої потужності (380–1000 кВт) для постійної роботи. Всі установки використовують рідинну систему охолодження та генератори виробництва Leroy Somer. Вони базуються на двигунах провідних світових виробників:

- Серія PG: Perkins;

Підп. і дата	
Інв. Нодубл.	
Взаєм. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. Неподл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат
-----	-----	----------	-------	-----

ТС 23510314

- Серія SG: Scania;
- Серія UG: Isuzu;
- Серія FG: Ford;
- Серія GMG: General Motors;
- Серія PBF: Perkins.

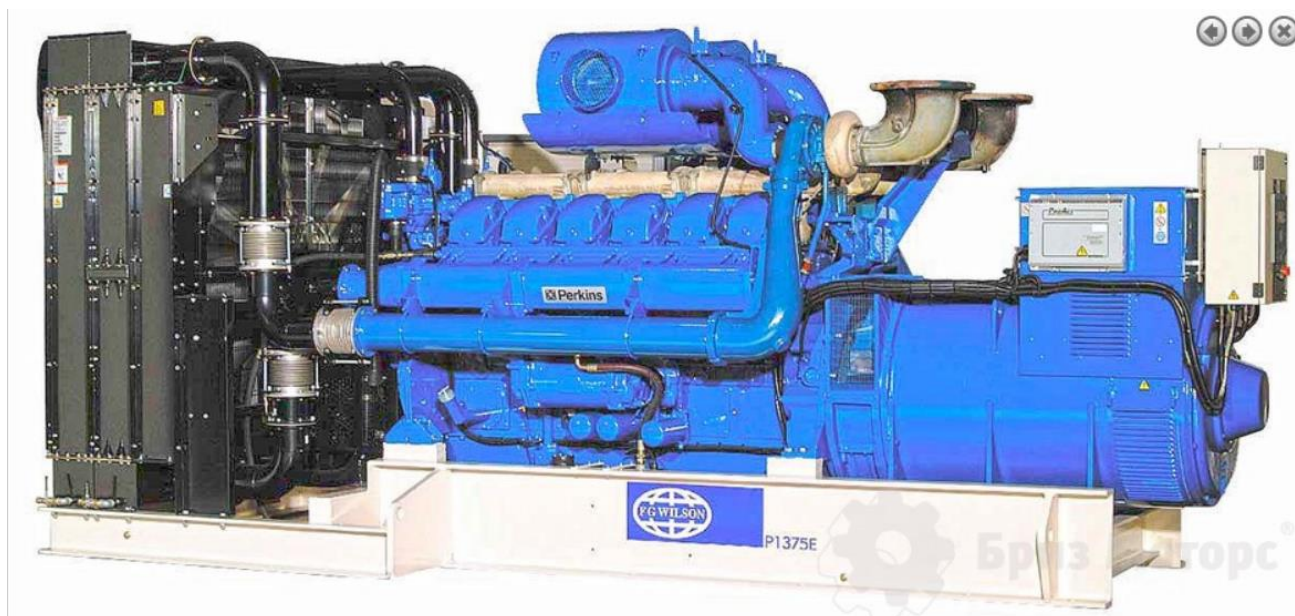


Рисунок 3.2 Газопоршнева установка **FG Wilson**

Характеристики електростанцій **FG Wilson SG-PG:**

- Потужність: 10–125 кВА (мала), 240–1250 кВА (середня);
- Вироблення трифазного струму (380/220 В, 50 Гц).

Серії **UG-FG-GMG** призначені для однофазного та трифазного електропостачання, а серія **PBF** працює на двох видах палива (газ/дизель) з співвідношенням 70/30, залежно від складу газу та умов експлуатації.

Головні переваги **FG Wilson:**

- Широкий модельний ряд;
- Надійність та якість продукції;
- Гнучкість у виборі паливних компонентів;
- Висока ефективність та екологічність.

Недоліки електростанцій **FG Wilson:**

- Тривалі терміни поставки (зазвичай 10–14 тижнів).

Підп. і дата	
Інв. Неодубл.	
Взаєм. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. Неподр.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат
-----	-----	----------	-------	-----

ТС 23510314

Арк

34

- Великий ризик придбання станцій, ввезених несумлінними продавцями з регіонів (Китай, Індія), які не дозволені для продажу. Такі установки не гарантуються належним сервісом, хоча можуть використовуватися як резервні джерела за умов правильного монтажу і догляду.
- Висока вартість типового обладнання.

Газопоршневі електростанції Guascor (Іспанія):

Ці станції можуть працювати на різноманітному паливі, включаючи природний, зріджений, нафтовий газ, біогаз та інші види. Потужність установок варіюється в межах 142,8–1204 кВт. Guascor ідеально підходять для малих і великих підприємств, забезпечуючи одночасне виробництво електроенергії та тепла.

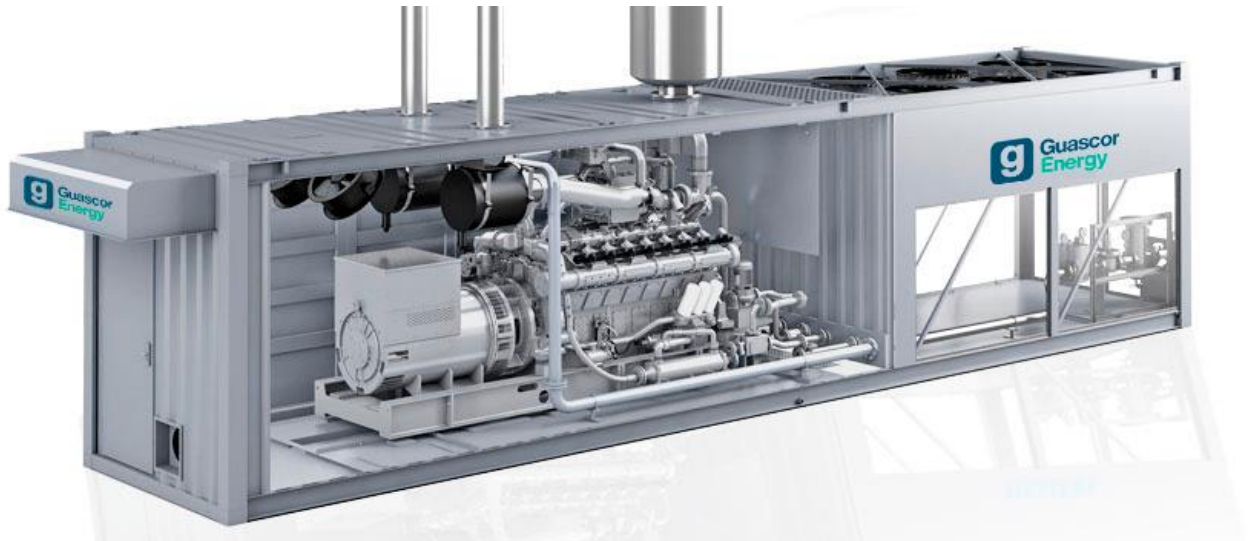


Рисунок 3.3 Газопоршнева когенераційна установка фірми Guascor

Переваги:

- Високий коефіцієнт корисної дії (ККД) у когенераційних системах.
- Собівартість електроенергії нижча за середній тариф мережєвих компаній.
- Надійність постачання електроенергії, незалежність від мережєвих коливань.

Підп. і дата	
Інв.№дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 23510314

- Просте і дешеве технічне обслуговування без повернення обладнання до виробника.

- Підтримка різних видів газу (природний, попутний тощо).

Недоліки:

- Обмежений діапазон потужностей у порівнянні з конкурентами.

Особливості:

- Інноваційні двигуни, адаптовані для газового палива.

- Можливість роботи на газі з низьким метановим числом.

- Використання сучасних систем регулювання подачі палива та детонаційного контролю.

- Тривалий термін експлуатації – до 8 років до капітального ремонту.

- Гнучкість у комплектації когенераційних систем.

- Оптимальне співвідношення ціни та якості у межах 300–1000 кВт.

Газопоршневі електростанції Caterpillar (США):

Потужність установок варіюється в межах 10–3860 кВт.



Рисунок 3.4 Газопоршнева когенераційна установка фірми **Caterpillar**

Переваги:

- Надійність, довговічність та економічність.

Підп. і дата
Інв. Недубл.
Взаєм. інв. №
Підп. і дата
Інв. Неподр.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 23510314

- Високий ККД і економна витрата палива.
- Простий монтаж і експлуатація.
- Низькі експлуатаційні витрати.
- Тривалий інтервал між капітальними ремонтами (60 000–100 000 мотогодин).
- Відповідність екологічним стандартам.

Недоліки:

- Висока вартість, доцільна для підприємств із безперервним циклом виробництва.
- Часто постачаються за індивідуальним замовленням.

Газопоршневі електростанції MTU (Німеччина):

Потужність станцій у межах 116–1948 кВт.

Переваги:

- Ефективне виробництво електроенергії та тепла (ККД до 92%).
- Тривалий ресурс роботи (до 240 000 мотогодин).
- Можливість розміщення у безпосередній близькості до споживача.
- Автоматизована система управління.
- Швидка окупність (2–6 років).

Недоліки:

- Висока вартість обладнання.

Підп. і дата	
Інв. №дубл.	
Взаєм. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. №подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 23510314

Арк

37



Рисунок 3.5 Газопоршнева когенераційна установка фірми MTU

Газопоршневі установки Tedom (Чехія):

Потужність станцій варіюється в межах 23–5900 кВт.

Переваги:

- Висока надійність і компактність.
- Низький рівень шуму за використання шумозахисного кожуха.
- Можливість роботи за мінусових температур.
- Модульна система управління.
- Швидка окупність і довговічність.

Недоліки:

- Висока вартість обладнання.

Підп. і дата	
Інв.№дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат	<i>ТС 23510314</i>



Рисунок 3.6 Когенераційна установка Tedom

3.1.3 Висновки

Когенераційні установки дозволяють значно знизити витрати на енергію завдяки підвищенню загальної ефективності енергетичних процесів. Основні економічні переваги використання КГУ наступні:

- **Ефективність використання палива:** стандартні електростанції перетворюють лише близько 30-40% енергії палива в електроенергію, решта втрачається у вигляді тепла. Когенераційні установки дозволяють використовувати до 80-90% енергії палива.
- **Зниження витрат на опалення:** оскільки тепло, що виробляється під час генерації електроенергії, може бути використане для опалення приміщень або технологічних процесів, витрати на опалення значно знижуються.

Підп. і дата	
Взаєм. інв. №	Інв. № дубл.
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 23510314

Арк

39

- **Економія на електроенергії:** виробництво електроенергії на місці дозволяє знизити залежність від зовнішніх постачальників і уникнути витрат на передачу електроенергії по мережі.
- **Підвищення енергетичної незалежності:** когенераційні установки дозволяють підприємствам забезпечувати себе енергією самостійно, що особливо важливо в умовах нестабільних цін на енергоресурси.

Переваги та недоліки Когенераційних установок

Переваги:

- **Енергоефективність:** КГУ дозволяють значно зменшити витрати на енергопостачання, завдяки спільному виробництву електроенергії та тепла.
- **Зниження викидів CO₂:** Використання КГУ допомагає зменшити викиди парникових газів, що сприяє поліпшенню екологічної ситуації.
- **Незалежність від зовнішніх постачальників:** Підприємства можуть самостійно забезпечувати себе електроенергією і теплом, що знижує залежність від енергетичних монополій.

Недоліки:

- **Висока вартість початкової інвестиції:** Встановлення когенераційної установки вимагає значних капіталовкладень, що може бути не під силу малому бізнесу.
- **Складність обслуговування:** КГУ потребують регулярного технічного обслуговування та висококваліфікованих спеціалістів для експлуатації.
- **Необхідність точного проектування:** Без детального проекту, який враховує всі аспекти роботи КГУ, можливі значні втрати ефективності.

Підп. і дата	
Інв.№дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 23510314

Арк

40

3.2 Вдосконалення використання когенераційної установки

З метою оптимізації використання когенераційної установки на біогазовому комплексі нами були розглянуті шляхи повторного використання тепла від когенераційної установки. Розглянемо теплову схему когенераційної установки на базі газопоршневого двигуна внутрішнього згорання (рис.3.7).

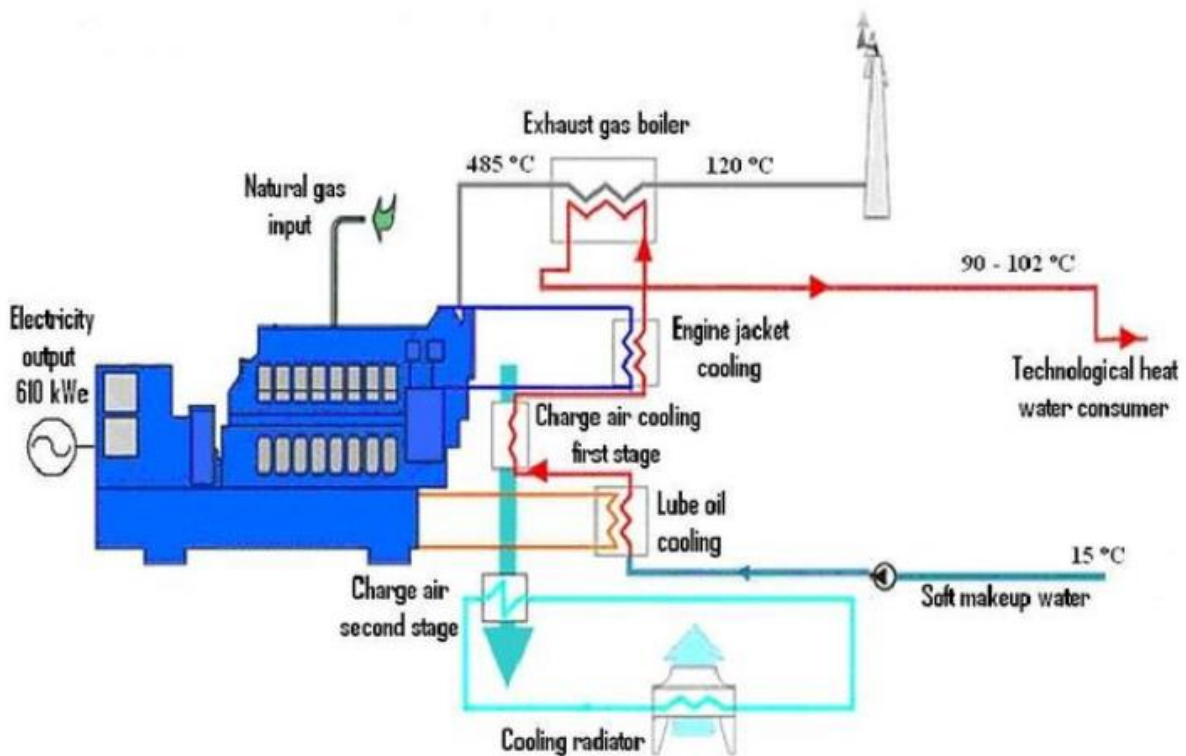


Рисунок 3.7 Теплова схема роботи когенераційної установки

Відповідно до схеми руху теплоносії можна прийти до висновку що залишається не використаним низькотемпературні викиди вихлопних газів від двигуна внутрішнього згорання. Ці викиди мають температуру 120-130°C.

В даний час температуру димових газів, що йдуть, за котлом або іншим джерелом приймають не нижче 120-130°C з двох причин: для виключення конденсації водяної пари на газоходах і димових трубах і для збільшення природної тяги, що знижує напір димососа. При цьому теплоту газів і приховану теплоту пароутворення водяної пари можна корисно використовувати. Використання теплоти димових газів і прихованої теплоти пароутворення водяної

Підп. і дата
Інв.№дубл.
Взаєм.інв.№
Підп. і дата
Інв.№подл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат
-----	-----	----------	-------	-----

ТС 23510314

пари називається методом глибокої утилізації теплоти димових газів. В даний час існують різні технології реалізації даного методу, які знайшли масове застосування за кордоном.

Ми в нашій роботі пропонуємо викостувувати тепло димових газів для сушіння твердої частини дигестату з метою подальшого його гранулювання і отримання паливних пелет.

Відповідно до технологічної схеми виробництва пропонується дигестат після ферментації відправляти на шнекову сепарацію де з нього буде відділятися рідка фаза. Після сепарації дигестат з вологістю 75-80 % накопичується в лагуні. З лагуни, за допомогою шнекового конвейєра дигестат подається до лопастної тунельної сушарки. В сушарці дигестат контактує в димовими газами які мають температуру 120-130°C. Для подачі вихлопних газів у сушарку використовується димосос центробіжного типу. Завдяки обертам сушилки і постійному перемішуванню лопатками вологість дигестату зменшується до рівня 20-18%. Після сушарки, висушений матеріал надходить на подрібнення до молоткової дробарки. Після стадії подрібнення вологість дигестату досягає рівня 12-15%. При такій вологості матеріал добре гранулюється на матричному грануляторі і високу міцність.

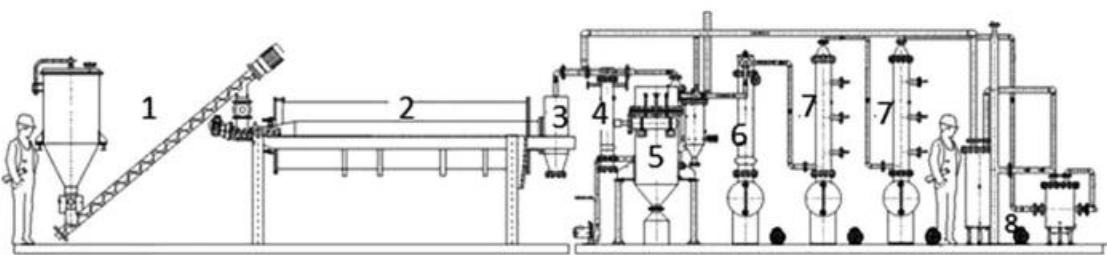


Рисунок 3.8 Загальний вигляд ділянки сушки

Підп. і дата
Інв.№дубл.
Взаєм.інв.№
Підп. і дата
Інв.№подл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 23510314

Метод глибокої утилізації теплоти димових газів дозволяє збільшити ККД паливної установки на 2-3%, що відповідає зниженню витрати палива на 4-5 кг у.палива на 1 Гкал виробленого тепла.

Завдяки запропонованим технічним рішенням ми отримаємо не тільки економію ресурсів але й отримаємо нове паливо- паливні пелети із дигестату. Це підвищить показник валоризації біогазової установки і забезпечить підприємство що експлуатує біогазову установку ще одним видом палива.



Рисунок 3.9 Загальний вигляд паливних пелет отриманих із дигестату

Інв.№подл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 23510314

забороняється куріння та розведення вогню біля установки. Під час проведення зварювальних робіт відстань до газового обладнання повинна бути не менше 10 метрів. Після зливу сировини з біогазових установок для проведення ремонту реактор повинен провітрюватися, так як існує небезпека вибуху суміші біогазу і повітря. – Тиск газу, який подається по газопроводу до місця споживання, не повинен перевищувати 0,15 МПа, а перед газовими приладами має бути не більше 0,13 кг/см². Реактор повинен бути обладнаний засувками, гідрозатворами, які у випадку необхідності могли б відключити його від магістрального скиду надлишкового тиску у газовій систему у випадку перевищення ним норми. – Електрообладнання, яке використовується, повинно бути заземлене. Опір проводу для заземлення має бути не більше 4,0 Ом [35]

4.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях на досліджуваному об'єкті

Відповідно до Кодексу цивільного захисту України, підготовка персоналу на підприємствах незалежно від форм власності до дій у надзвичайних ситуаціях здійснюється за спеціально розробленою схемою заходів захисту населення та територій.

Для великих і малих підприємств система заходів захисту від надзвичайних ситуацій включає:

- планування та здійснення необхідних заходів для захисту своїх працівників, об'єктів господарювання;
- розроблення планів локалізації та ліквідації аварій з подальшим погодженням з Державною службою України з надзвичайних ситуацій;
- підтримання у готовності до застосування сил і засобів із запобігання виникненню та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій;
- створення та підтримання матеріальних резервів для попередження та ліквідації надзвичайних ситуацій;

Підп. і дата	
Інв.№дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 23510314

ВИСНОВКИ

В магістерській кваліфікаційній роботі була виконана задача підвищення використання когенераційної установки для біогазового комплексу.

З огляду на ключову роль енергетичного сектору для національної економіки, Україна стикається зі значними викликами у сфері його розвитку. Серед основних проблем — низька ефективність, висока енергоємність, постійні обстріли з боку росії використання когенераційних установок що можуть працювати на біогазі, звалищному газі – є шляхом розв'язання цієї складної ситуації. А поєднання використання когенераційної установки зі схемою сушки, гранулювання і отримання паливних пелетіз дигестату то шлях до підвищення валоризації експлуатації біогазових комплексів.

В першому розділі проведено аналіз сучасного стану виробництва біогазу в Україні.

В другому розділі зроблена класифікація огляд сучасних когенераційних установок, вибраний тип установки якій краще відповідає умовам використання на біогазових комплексах.

В третьому розділі розглянуто ринок існуючого газопоршневого устаткування та запропонована нова схема реалізації когенерації разом із сушкою та гранулюванням дигестату

На завершальному етапі були проаналізовані умови охорони праці на біогазовому комплексі та шляхи зменшення небезпек.

Підп. і дата	
Інв.№дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 23510314

Арк

51

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Скляр О. Г., Скляр Р. В. Формування витрат енергоносіїв на виробництво тваринницької продукції. Науковий вісник ТДАТУ. Мелітополь: ТДАТУ, 2021. Вип. 11, том 1.
2. Скляр Р.В., Скляр О.Г. Аналіз роботи біогазових установок. Механізація та електрифікація сільського господарства: загальнодержавний збірник. ННЦ «ІМЕСГ». Глеваха, 2019. Вип. № 10 (109). С. 132–138.
3. Войтов В. А. Аналіз технологій утилізації відходів птахівництва за кордоном. Праці ТДАТУ. Мелітополь, 2019. Вип. 19. Т. 4. С. 100–109.
4. Скляр О.Г., Скляр Р.В. Технологічні аспекти виробництва біогазу. Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: Мат. II Міжнар. наук.-практ. конф. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. С. 35–39.
5. Indicators. Statistics. International Energy Agency. Retrieved from www.iea.org.
6. Decree of Cabinet of Ministers of Ukraine dated Sep. 3, 2014 No. 791-r 'On Approval of Action Plan to Implement European Parliament and Council Directive 2009/28/EU'. Retrieved from www.zakon.rada.gov.ua.
7. Decree of Cabinet of Ministers of Ukraine dated Oct. 1, 2014 No. 902-r On National Action Plan on Renewable Energy until 2020. Retrieved from www.zakon.rada.gov.ua.
8. State Agency on Energy Efficiency and Energy Saving of Ukraine. Retrieved from <http://saee.gov.ua/en>.
9. BAU (2016). Opportunities for harvesting by-products of grain corn for energy production in Ukraine. UABio Position Paper, 16. Retrieved from <http://uabio.org> [in Ukrainian].
10. Noorollahi, Y., Kheirrouz, M., Asl, H.F., Yousefi, H., Hajinezhad, A. (2015). Biogas production potential from livestock manure in Iran. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 50, 748-754. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.190>

Підп. і дата
Інв.№дубл.
Взаєм.інв.№
Підп. і дата
Інв.№подл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 23510314

Арк

52

11. Moreda, Iván López. (2016). The potential of biogas production in Uruguay. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 1580-1591. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.099>

12. Van Rens, G.L.M.A., Bijkerk, G.W. (2013). CO2 emission saving by small-scale manure digestion. Cornelissen Consulting Services B.V. Retrieved from <http://biogas-etc.eu>

13. Findeisen, C. (2014). Biogas - trends on the German and the international market. German Biogas Association. Retrieved from www.eclareon.com

14. Ukraine's greenhouse gas inventory 1990-2015. Annual National Inventory Report for Submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol. Retrieved from www.unfccc.int

15. State Statistics Service of Ukraine. Retrieved from www.ukrstat.gov.ua.

16. Shafarenko, Yu. Country's steps towards investments. Retrieved from www.uabio.org.

17. IPCC 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. IGES, Japan. Retrieved from www.ipcc-nggip.iges.or.jp

18. IRENA 2015. REmap 2030. Prospects for the development of renewable energy in Ukraine. Abu Dhabi. Retrieved from www.irena.org.

19. Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сфері енергетики та комунальних послуг : веб сайт. URL:<http://www.nerc.gov.ua/?id=189> (дата звернення: 12. 11. 2024).

20. Гелетуха Г. Г., Кучерук П. П., Матвеев Ю. Б. Перспективи виробництва та використання біогазу в Україні : Аналітична записка. № 11. Київ, Біоенергетична асоціація України, 2014. 42 с.

21. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України: веб сайт. URL: <http://www.saee.gov.ua/uk/news/2270> (дата звернення: 12. 11. 2024).

Підп. і дата
Інв.№дубл.
Взаєм.інв.№
Підп. і дата
Інв.№подл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 23510314

Арк

53

22. Біогазові проекти в Україні: перспективи, наслідки та регуляторна політика / Г. С. Трипольська. *Ekon. prognozuvannâ*. 2018. № 2. Р. 111–134. DOI: <https://doi.org/10.15407/eip2018.02.111>

23. Eder B., Schultz H. *Biogas plants. A practical guide* edited by IA Reddich, Zorg Biogas, 2011. Р. 175.

24. Куріс Ю. В., Червоний І. Ф. Біогазові технології. Енергетичні та екологічні аспекти : монографія. Запоріжжя : РВВ ЗДІА, 2010. 488 с.

25. Ю. І. Сидоров Сучасні біогазові технології. *Biotechnologia АСТ*. 2013. V. 6, № 1. Р. 46 – 61.

26. Geletukha G, Kucheruk P, Matveev Y. Prospects of biomethane production and use in Ukraine. *UABio Position Paper*. 2014. № 11. URL: <https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/04/position-paper-uabio-11-en.pdf> (дата звернення 20.10.2024).

27. Hunt R. W., Zavalin A. Electromagnetic biostimulation of living cultures for biotechnology, biofuel and bioenergy applications. *Int. J. Mol. Sci.* 2009, № 10 (10):4515-58. DOI: 10.3390/ijms10104515.

28. Crovetto R. Evaluation of Solubility Data for the System biogas and baimetan. *Journal of Physical and Chemical Reference*. 2014. № 20. Р. 575 – 589.

29. Качан Ю. Г., Коваленко В. Л., Аносов Д. О. Щодо доцільності та ефективності застосування біогазових технологій в умовах металургійних підприємств. *Металургія : наукові праці Запорізької державної інженерної академії*. 2015. Вип. 2 (34). С. 106 – 110.

30. Когенерація та її особливості в Україні [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.aeroterm.ua/kogeneratsiya-i-ee-osobennosti-v-ukraine/>

31. ДСНіП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014.

32. 15. ДСТУ-Н Б А 3.2-1: 2007 Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних

Підп. і дата	
Інв.№дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 23510314

