



Інститут газу НАН України
Інститут мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України
ТОВ «Міжнародний центр газових технологій»



Комплекси утилізації органічних відходів як елемент розподіленої генерації у воєнний час



Авторський колектив

ЖУК Геннадій Віліорович

член-кореспондент НАН України, доктор технічних наук, директор Інституту газу НАН України

КРУШНЕВИЧ Сергій Петрович

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Інституту газу НАН України.

ВЕРБОВСЬКИЙ Валерій Степанович

кандидат технічних наук, науковий співробітник Інституту газу НАН України.

ІВАНОВ Юрій Вікторович

науковий співробітник Інституту газу НАН України.

КУБЕНКО Станіслав Борисович

науковий співробітник Інституту газу НАН України.

ТАШИРЕВ Олександр Борисович

доктор технічних наук, професор, завідувач відділу Інституту мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України

ГОВОРУХА Віра Михайлівна

кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник Інституту мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України

КОМІССАРЕНКО Дмитро Анатолійович

кандидат економічних наук, генеральний директор ТОВ «Міжнародний центр газових технологій»



МЕТА РОБОТИ

ЗМІЦНЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО СЕКТОРУ УКРАЇНИ - забезпечення електроенергією місцевих споживачів у воєнний та повоєнний час шляхом прискореної переробки органічної частини відходів в енергоносії, їх використання для розподіленої біогазової генерації



Щорічне збільшення маси твердих побутових відходів: 11-13 млн.т

На 90 найбільш потужних полігонах доцільно збирати близько 500 млн. м³/рік метану.

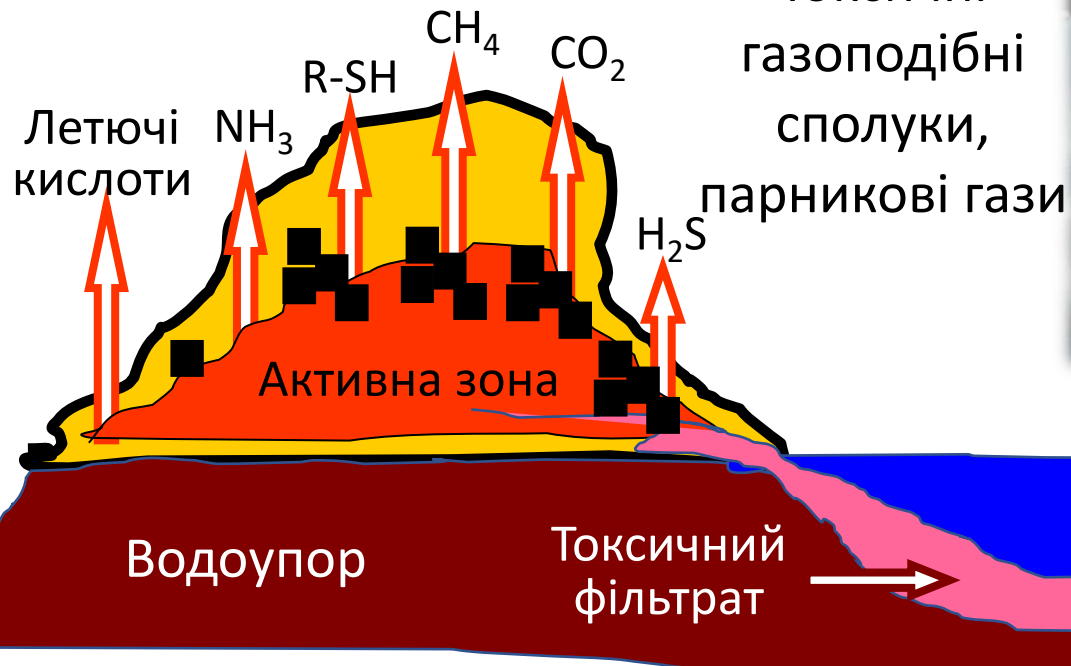
Збір та утилізація звалищного газу є обов'язковою складовою внеску України до боротьби зі зміною клімату

Важливий аспект - скорочення викидів шкідливих та парникових газів

Проблема пожеж на звалищах



Незворотне
руйнування
екосистем



На полігонах твердих побутових відходів в атмосферу виділяється 800 тис. т. метану, це еквівалентно 16 млн. т. вуглекислоти за парниковим ефектом

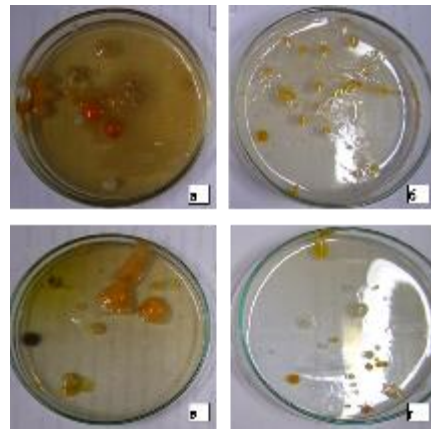
Актуальність для України

- Паризька угода - 2016 р.
- Європейський Зелений Курс (Green Deal) - 2020 р.
- Конференція ООН з питань зміни клімату (2021, Глазго) - амбітний план NBB-2
- Закон України «Про управління відходами» (2022)
- План відновлення України:
- Розбудова інфраструктури управління відходами – 7.4 млрд. дол. США – до 2032 р
- Розвиток виробництва біопалива (біометан) – 2.3 млрд. дол. США - до 2030 р
- Меморандум між Україною та ЄС про стратегічне партнерство у сфері біометану, водню та інших синтетичних газів (2023)
- Зміни до Закону України "Про альтернативні види палива" щодо розвитку виробництва біометану" (2021)



Наукова новизна роботи

- Вперше в Україні: на основі термодинамічних розрахунків проведено оптимізацію та масштабування біотехнології прискореної деструкції багатокomпонентних органічних відходів з отриманням водню, метану, твердого палива, біодобрива і чистої води
- Створено наукові засади та розроблено технологію збору, переробки та комплексної утилізації звалищних газів
- Розроблено оптимальні технологічні рішення мінімізації енергетичних витрат абсорбційних процесів вилучення діоксиду вуглецю з отриманням біометану – аналога природного газу
- На основі встановлених термодинамічних та гідрогазодинамічних залежностей розроблено програмні комплекси розрахунку властивостей біогазу різного складу та процесів його переробки в цільові продукти
- Створено систему та алгоритм регулювання біогазових газопоршневих електрогенераторів в умовах зміни теплотворної здатності палива



Висвітлення результатів роботи

Загальна кількість праць за темою роботи: 110

В тому числі:

6 монографій

37 статей у зарубіжних англомовних журналах з імпаکت-фактором

Отримано 7 патентів України на винахід.

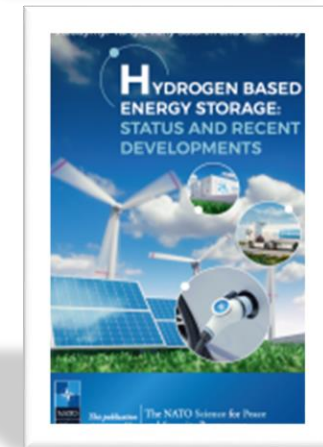
Загальна кількість посилань на публікації авторів за темою роботи:

згідно наукометричних баз даних:

Web of Science: 54/1

Scopus: 107/6

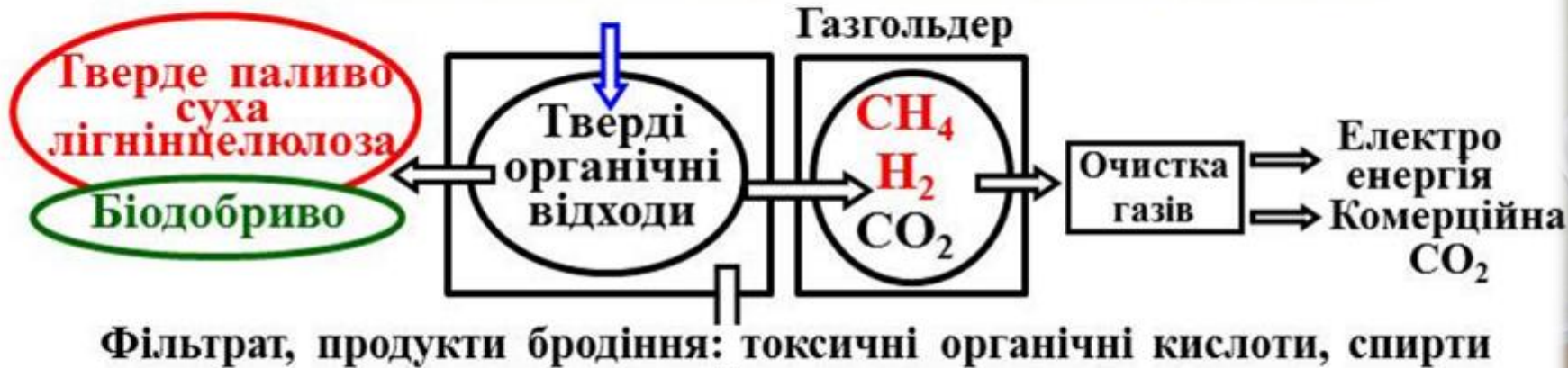
Google Scholar: 249/7



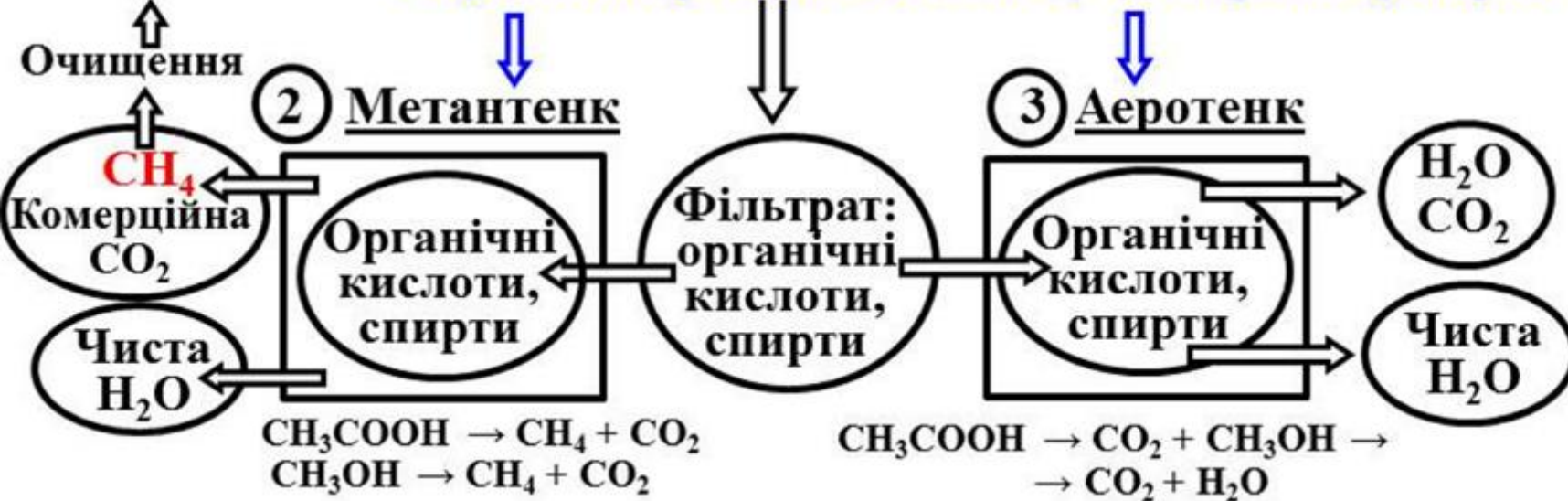
Знешкодження твердих та рідких відходів з отриманням енергоносіїв

1 Анаеробний біореактор

Регуляція мікробного метаболізму та мікробні препарати



Електроенергія Регуляція мікробного метаболізму та мікробні препарати



Універсальна біотехнологія отримання енергоносіїв та чистої води з твердих та рідких органічних відходів

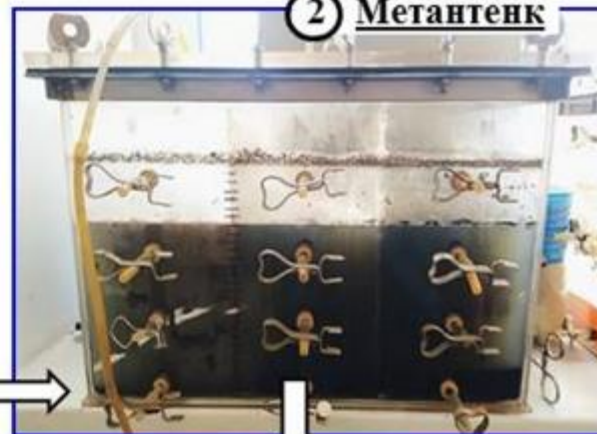
① Водневий біореактор



- Швидка та ефективна деградація твердих і рідких відходів та очищення фільтрату:
- Скорочення часу ферментації у 12 разів (з 30 до 2,5 діб)
 - Збільшення коефіцієнту деградації відходів у 17 разів

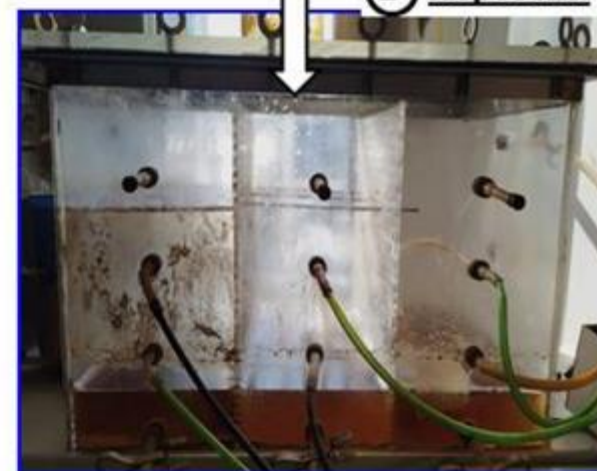
Корисні продукти (з 1 м³ твердих та рідких відходів):
50 м³ H₂; 12 кг твердого палива, 12 кг біодобрива (з твердих відходів); 1 м³ CH₄ (з фільтрату)

② Метантенк



- Синтез CH₄ за деградації розчинних органічних сполук

② Аеротенк



- Повне очищення фільтрату від розчинних органічних сполук

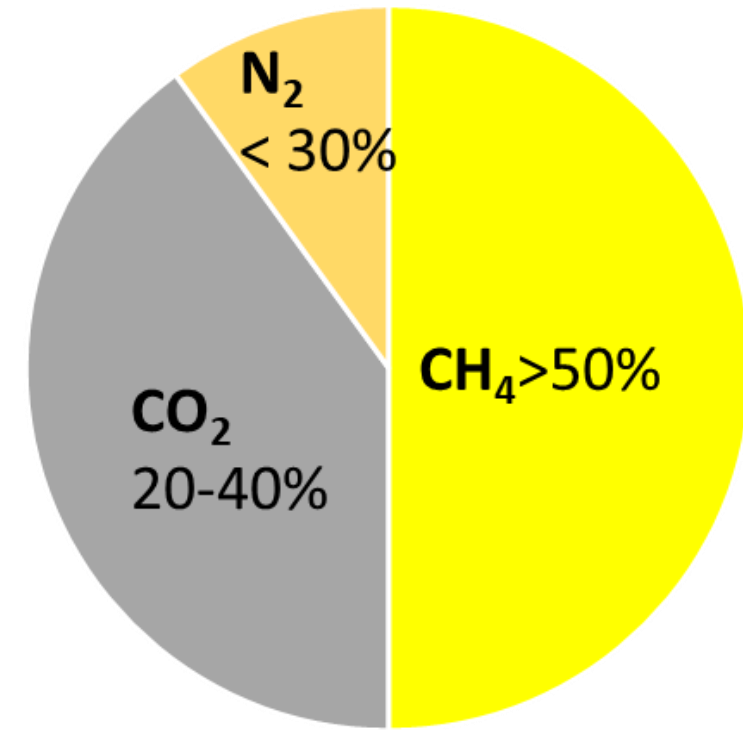


Дослідження продуктивності та хімічного складу біогазу



Визначено потенціал звалищного газу шляхом комплексного дослідження полігонів ТПВ України - в Києві, Одесі, Сумах, Харкові, Івано-Франківську, Львові, Миколаєві та ін. (загалом 16 полігонів)

Усереднені результати хімічного аналізу свідчать про високий вміст метану (більше 50%) в біогазі, вміст вуглекислого газу становить 20-40% об'ємних. Високий паливний потенціал біогазу полігонів ТПВ дозволяє ефективно його використовувати замість природного газу в енергетичних установках.



Замкнений цикл метанового зброджування звалищних твердих та рідких органічних відходів



- 1. Вихід енергоносіїв:**
 - 27 л H_2 та 12 л CH_4 /кг відходів
 - 1 л CH_4 /л фільтрату
- 2. Інженерно-технологічні показники:**
 - Тривалість циклу $T = 14$ діб:
 - Зменшення маси відходів (K_d) – у 20 разів
 - Зменшення концентрації розчинних органічних сполук (K_d) – у 100 разів



*ГМП – гранульований мікробний препарат
 **РММ – регулятори мікробного метаболізму



2000 мг/л → 150 мг/л вуглецю



150 мг/л → 20-30 мг/л вуглецю

Our results:	Industry:
Time Detention $T = 2.5$ days	$T = 30$ days
Decrease of weight, $K_d = 85$	$K_d = 5-10$
Yield $V_{H_2} = 50$ l/kg of waste	$V_{H_2} = 30$ l/kg

- Positive effects:
1. Solid Waste decrease
 2. Energy Carriers: H_2 and solid fuel
 3. Biofertilizer
 4. $CrO_4^{2-} + 3e = Cr(OH)_3 + H_2O$



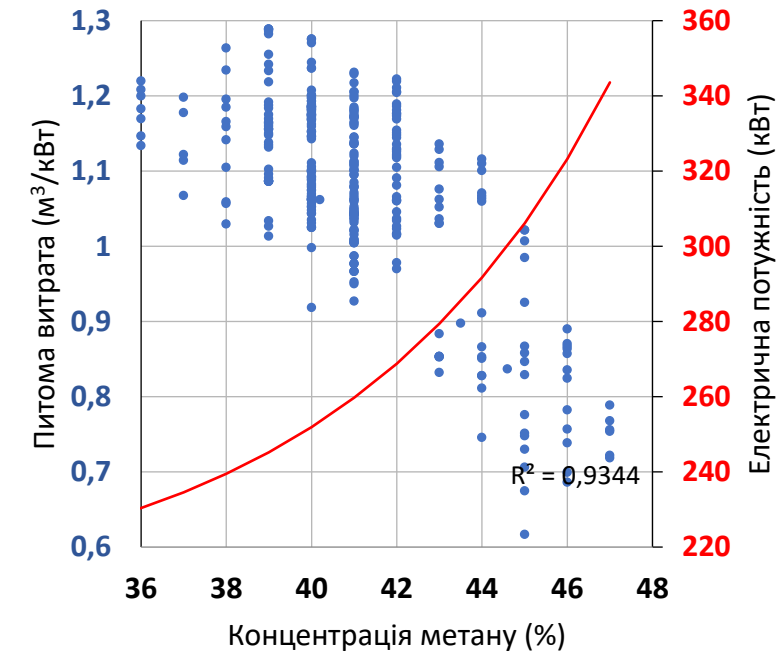
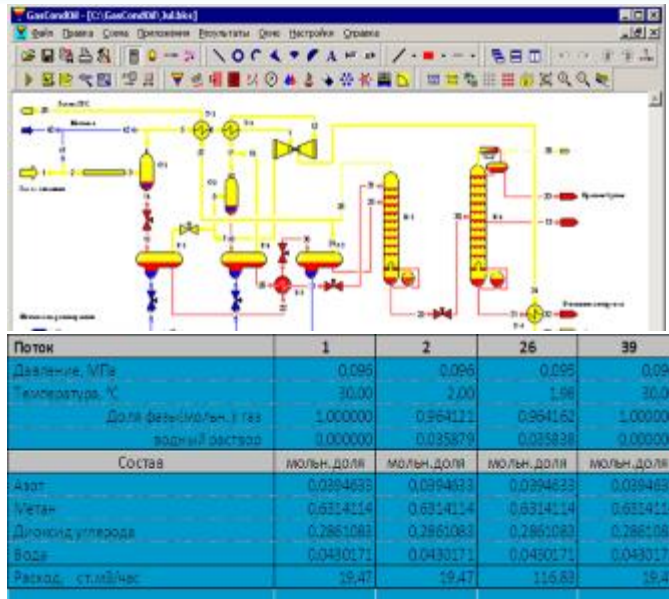
Виробництво біометану і вуглекислого газу

- Розроблено технологічний процес фракціонування біогазу, отримання біометану і товарного діоксиду вуглецю
- Вилучено цільові фракції метану та діоксиду вуглецю, досягнуто концентрації метану 95% (об) та діоксиду вуглецю 99% (об).
- Створено автомобільні компресорні станції на біометані, які використовують для заправки автомобілів або постачань в газову мережу
- Вуглекислоту доцільно використовувати для гасіння пожеж



Спалювання біогазу в двигунах внутрішнього згоряння з виробництвом електроенергії

Розроблено оригінальну систему збору та утилізації звалищного газу із застосуванням сучасних методів розрахунку, технічних рішень і матеріалів. Математичне моделювання системи було зроблено в рамках програмної системи (ПС) ГазКондНафта, яка розроблена в ІГ НАН України.

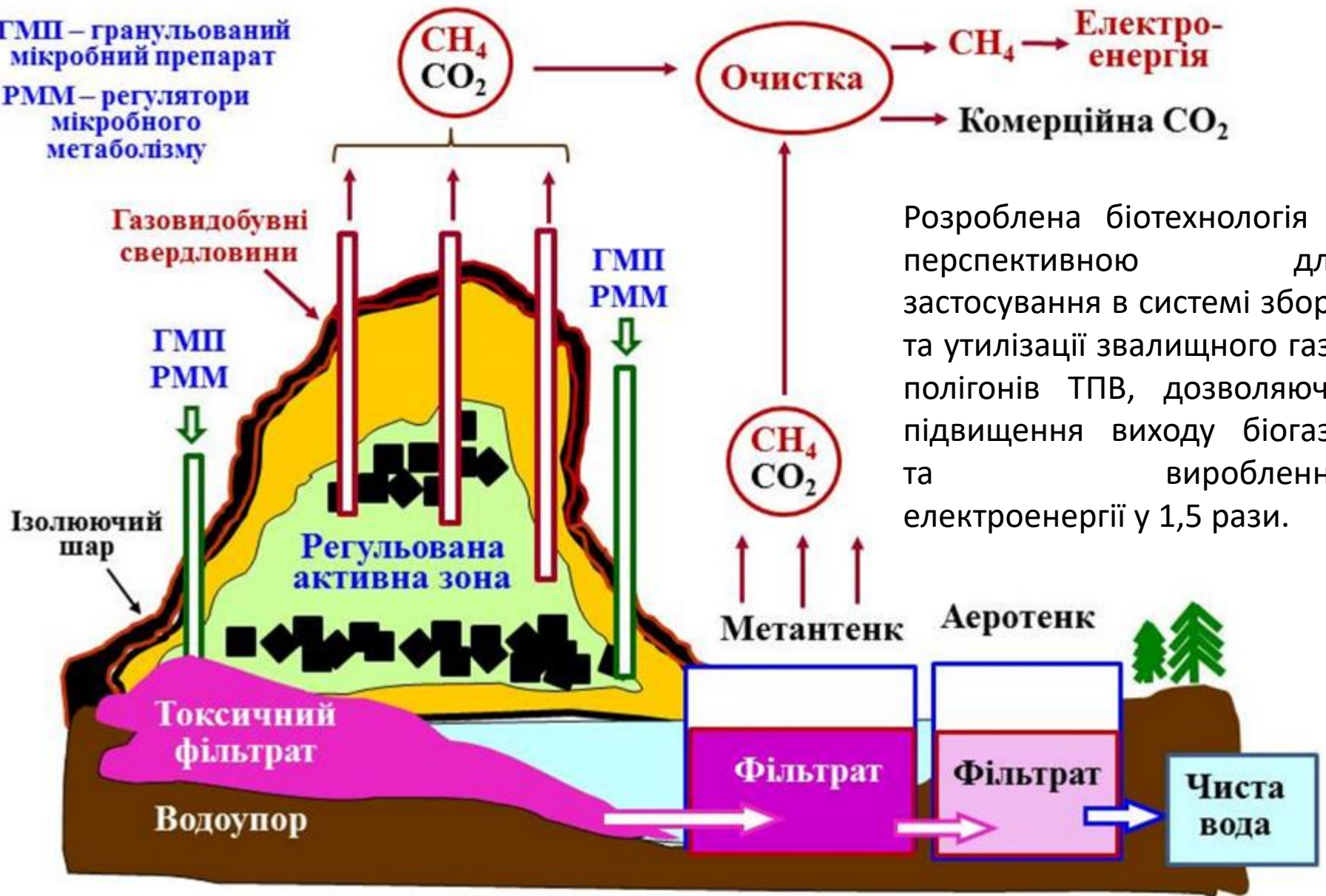


При продуктивності системи свердловин 1000 м³/год електрична потужність енергетичної установки складає близько 1.7 МВт



Екологічно безпечне видобування енергоносіїв у регульованих полігонах

ГМП – гранульований мікробний препарат
РММ – регулятори мікробного метаболізму



Розроблена біотехнологія є перспективною для застосування в системі збору та утилізації звалищного газу полігонів ТПВ, дозволяючи підвищення виходу біогазу та вироблення електроенергії у 1,5 рази.



Практична значимість роботи

- розроблено та оптимізовано біотехнологію деструкції багатокомпонентних харчових відходів з отриманням продуктів (водню, метану, твердого палива, біодобрива, чистої води), а також прискорення деградації органічних відходів звалищ та виходу біогазу
- вперше в Україні створено промислові комплекси видобутку, переробки та використання біогазу полігонів та звалищ твердих побутових відходів з виробництвом електроенергії для загальних електромереж на **постійній** основі
- на цей час в промислову експлуатацію введено більше 30-ти комплексів загальною потужністю **32 МВт**
- заміщено **250 млн м³ природного газу**
- зменшено емісію **вуглекислоти** в довкілля на **5 млн.т**
- поширення розробок на полігонах України забезпечить економію **природного газу** близько **0.5 млрд.куб.м/рік**, а з урахуванням палива біологічного походження – до **8 млрд.куб.м/рік**, створить необхідні регіональні умови для заміщення викопних палив, сприятиме децентралізації та безпеці в енергетиці
- вилучений з біогазу діоксид вуглецю є товарним продуктом для промисловості, виробництва добрив, пожежної безпеки

ВПРОВАДЖЕННЯ: 5й полігон (с. Підгірці, Київська обл.)

В 2012 р. створено перший в Україні комплексний проект збору та переробки звалищного газу в електроенергію блоком з 6 газопоршневих генераторів та трансформаторною підстанцією (ТОВ ЛНК). Станція є першою чергою комплексу потужністю 4,5 МВт.



ВПРОВАДЖЕННЯ: м. Кам'янець-Подільський – ТОВ МЦГТ



Річні показники

- ❖ Кількість електроенергії – 3 млн. кВт·год
- ❖ Кількість тепла – 4 млн. кВт·год
- ❖ Зменшення викидів парникових газів – 20 тис. тон
- ❖ Надходження до бюджету міста – 1.5 млн. грн

ВПРОВАДЖЕННЯ: на полігонах Бориспільському та Броварському Київської обл., мм. Миколаїв, Житомир, Маріуполь



В 2024 р. сумарна встановлена потужність досягла 7 МВт

Енергетична переробка звалищного газу в Україні

6	ТОВ "Біогаз-Україна"	Запорізька	2,134	14,213	52%
7	ТОВ "Біогаз-Україна"	Запорізька	1,087		
8	ТОВ "Кліар Енерджі"	Івано-Франківська	0,880	16,935	53%
9	ТОВ "Кліар Енерджі"	Харківська	1,083		
10	ТОВ "Кліар Енерджі"	Харківська	0,845		
11	ТОВ "Кліар Енерджі"	Волинська	0,330		
12	ТОВ "Кліар Енерджі"	Київська	0,845		
13	ТОВ "Кліар Енерджі-Одеса"	Одеська	3,509	3,153	11%
14	ТОВ "Кліар Енерджі-Кременчук"	Полтавська	0,845	7,800	49%
15	ТОВ "Кліар Енерджі-Кременчук"	Полтавська	1,003		
16	ТОВ "Кліар Енерджі-Херсон"	Херсонська	0,625	14,421	59%
17	ТОВ "Кліар Енерджі-Херсон"	Дніпропетровська	1,154		
18	ТОВ "Кліар Енерджі-Херсон"	Дніпропетровська	1,083		
19	ТОВ "Кліар Енерджі-Чернігів"	Чернігівська	1,131	5,455	58%
20	ТОВ "Ланкаст"	Київська	2,128	8,855	49%
21	ТОВ "ЛІНК"	Київська	1,083	22,142	49%
22	ТОВ "ЛІНК"	Київська	0,885		
23	ТОВ "ЛІНК"	Житомирська	1,083		
24	ТОВ "ЛІНК"	Миколаївська	1,083		
25	ТОВ "ЛІНК"	Черкаська	0,600		
26	ТОВ "ЛІНК"	Кіровоградська	0,635		
27	ТОВ "ПФ "ЛОТУС"	Дніпропетровська	3,600		
28	ТОВ "Мастеренерго Інвест"	Рівненська	0,657	1,717	31%
29	ТОВ "Міжнародний центр газових технологій"	Хмельницька	0,220	1,145	61%
30	ТОВ "ПІС Еко"	Донецька	0,200	2,398	25%
31	ТОВ "ПІС Еко"	Донецька	0,922		
Разом:			32,380	106,572	47%

Статистичні дані НКРЕКП

економічний ефект від впроваджених об'єктів утилізації звалищного газу становить близько **2 млрд. грн**, на теперішній час вироблено та поставлено в мережу на безперервній основі більше 1 млрд. кВт·год електроенергії

Міжнародне співробітництво між Україною та Великою Британією



Підтримка енергетичного
відновлення України



**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ БІОГАЗОВОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ
ШЛЯХОМ КОМПЛЕКСНОГО ВИРОБНИЦТВА ВУГЛЕКИСЛОГО
ГАЗУ, ТЕПЛА ТА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ**

Впровадження проекту в м. Кам'янець-Подільський
заплановане протягом двох років.

В проекті задіяні три компанії:



Tiwakiki
Consulting 



Gas Institute
of the National
Academy of
Sciences of Ukraine 

МЦГТ

International Center
of Gas Technologies 

Ефект роботи на економіку України

Зниження емісії парникових газів

+11-13 млн.т/рік вивозиться

500 млн. м³/рік метану потенційно доступно

Сумарна встановлена потужність 7 МВт

Можна поставляти в газопровід або на АГНКС

+800 тис.т/рік емісія метану в атмосферу

Прискорення синтезу біогазу

Вироблено 106 млн кВт·год за 2020 рік

Постачання вуглекислого газу

Стабілізація енергосистеми під час блекаутів

ГРС

CO₂

