

УДК 620.95(075.8)

## УТИЛІЗАЦІЯ ВІДХОДІВ З ОТРИМАННЯМ БІОПАЛИВА І ДОБРІВ

**В. І. КАРПЕНКО<sup>1</sup>, В. В. КОЗЛОВ<sup>1</sup>, Л. П. ГОЛОДОК<sup>2</sup>,  
О. В. ГОРЛІНСЬКИЙ<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Національний авіаційний університет, м. Київ*

*<sup>2</sup>Дніпропетровський національний університет*

*Проведені наукові розробки та запропонований новий підхід утилізації осаду комунально-побутових стоків у біогаз та добрива, що дозволить впроваджувати безвідходні біотехнології отримання біогазу та органіко-мінеральних добрив із шкідливих комунальних відходів. Розроблені та опрацьовані в робочих умовах біогазогенераційні системи типу ВП-1, які здатні знешкоджувати шкідливі відходи, отримувати з них складне органіко-мінеральне добриво, збільшити вихід газового палива у порівнянні з існуючими біореакторами в кілька разів, забезпечити екологічну охорону довкілля від забруднення органічними відходами, розширити можливості використання малих біоенергетичних установок в присадибних та фермерських маєтках, підвищити ефективність енергетичних систем, які мають трансформувати відходи в паливо.*

**Ключові слова:** *біомаса, утилізація органічних відходів, біопаливо, біогаз, добриво.*

**Вступ.** Традиційні джерела енергії сьогодні не задовольняють зростаючі потреби сучасного суспільства. Необхідно знайти нові масштабні, легко відновлювальні екологічні і дешеві джерела енергії. Їх трансформація в технічно зручні види палива має декілька шляхів. Одним з них є біологічна

конверсія органічних відходів і біомаси в цілому як продукту фотосинтезу в тверді, рідкі, газоподібні види палив та електроенергію.

Оцінка енергетичного потенціалу біомаси в Україні різними вченими представлена в таблиці 1 [1-4]. Як бачимо з таблиці, 24,2 млн т.у.п. (тон умовного палива) = 12% загального енергоспоживання в Україні в 2005 р., що є гарною передумовою для впровадження енергозберігаючих та енергогенеруючих біотехнологій з напрямку технічна біоенергетика.

*Таблиця 1*

### Енергетичний потенціал біомаси

Вид біомаси	Енергетичний потенціал, млн. т.у.п./рік
Солома злакових культур	5.6
Стебла і початки кукурудзи на зерно	2.4
Стебла і лушпиння соняшника	2.3
Біогаз із гною та органічних відходів	1.6
Біогаз станцій аерації та інших очисних споруд	0.2
Біогаз із звалищ побутових відходів	0.3
Деревне паливо, відходи деревини	2.0
Побутові відходи в якості палива	1.9
Рідкі палива із біомаси (біодизель, біоетанол, біобутанол)	2.2
Енергетичні плантації (верба, тополя, акація)	5.1
Торф	0.6
<b>ВСЬОГО</b>	<b>24.2</b>

Сьогодні, питання збереження екологічно чистого довкілля набуло актуальності в усьому світі. З'явилась усвідомлена необхідність як теоретичних, так і практичних досліджень в області розробки механізму екологічного регулювання у всіх сферах господарської діяльності. Одним з пріоритетних механізмів у світі стали сучасні біотехнологічні підходи утилізації відходів у біогаз та добрива.

**Основні цінні продукти, які утворюються при конверсії відходів у біогаз.**

*Біогаз як екологічне паливо.* Він складається з метану і водню до 40 - 90% і на 60 -10% з вуглекислого газу. В Україні у 2012 році проведений тендер на створення державного стандарту на біогаз, що виграв Інститут відновлюваної енергетики НАН України [5]. Сировиною для отримання метану і водню можуть слугувати різноманітні органічні залишки: відходи сільського господарства, відходи харчової, текстильної та інших галузей промисловості, відходи комунального господарства, стічні води.

Теплотворна здатність органічних речовин більш ніж на 80% може конвертуватися в метан і водень. Теплотворна здатність чистого біометану складає  $10^4$  ккал/м<sup>3</sup>, теплотворна здатність біогазу варіює залежно від вмісту вуглекислого газу і в середньому складає близько  $6 \cdot 10^3$  ккал/м<sup>3</sup>. При належній обробці біогазу його складові газоподібні речовини відділяються одна від одної і з успіхом використовуються у якості палива. Воно є аналогом природного газу, але на відміну від нього є відновлювальним та екологічно безпечним джерелом енергії та при достатньому ступені очищення стає ідентичним за складом природному газу. Тому біогаз може використовуватись в тих же цілях (виробництво електроенергії, тепла, автомобільного палива і т.д.). CO<sub>2</sub>, наприклад, можна додавати в шипучі напої.

При порушенні організації технологічних процесів отримання біогазу, у деяких випадках може з'являтися сірководень.

*Органо-мінеральні залишки після отримання біогазу з відходів як комбіновані складні добрива для сільського господарства.* У нативному

(необробленому) гної свиней, великої рогатої худоби і торфі зазвичай присутня велика кількість насіння бур'янів. Так, в 1 тонні свіжого гною знаходиться до 10 тис. насіння різних бур'янів, які, пройшовши через шлунок тварин, не втрачають здатність до проростання. Це призводить до втрати врожаю від 4 до 7 центнерів злакових культур з одного гектара. Через органічні добрива часто поширюється багато збудників захворювань рослин та тварин. Наприклад, у гної можуть міститися понад 100 небезпечних збудників хвороб: сибірська виразка, туберкульоз, бруцельоз, паратиф, паратуберкульоз, ящур, сальмонельоз, аскаридоз, кишкові інфекції та інші. Грам свинячого гною має мікробну забрудненість, клітин біля  $3,6 \cdot 10^9$ , у тому числі спорових анаеробів від  $10^2$  до  $10^4$ . Органічні добрива не повинні мати мікробне забруднення. В той же час, у 1 грамі необробленому гною міститься у  $10^9$  колоній різних мікроорганізмів, в тому числі і патогенних. Тому гній та інші органічні відходи сільського господарства перед внесенням у ґрунт потребують проведення тривалої (6-12 місяців) підготовки для знешкодження патогенної мікрофлори. Для цього використовують компостування, але при цьому в компості втрачаються корисні речовини, і забруднюється повітря парниковими газами. Крім цього, значна кількість поживних елементів вимивається з ґрунту (за сезон вимивається близько 80% органічних добрив, тому доводиться їх щорічно додавати у великих кількостях). Недостатня кількість азоту у ґрунті призводить до зниження врожайності багатьох сільськогосподарських культур. Також гальмується ефективний ріст рослин, послаблюється їх стійкість до різних хвороб. Тривале азотне голодування призводить до гідролізу білків і руйнування хлорофілу. При тривалому зберіганні органічних відходів втрачається до 50% азоту, і вони наносять екологічну шкоду ґрунту та ґрунтовим водам.

Більш екологічною технологією знешкодження та утилізації гною є його анаеробна біоконверсія у заброджене добриво і біогаз. Під час конверсії відходів у біогаз відбувається знешкодження відходів, розклад складних полімерів до простих сполук, більш відновлених і доступних для рослин. Таким

чином, заброджена біомаса після метантенка за багатьма показниками в кілька разів краще за інші добрива (нативні гній, послід, торф та хімічні) [6-9]. Ось деякі з цих показників:

- Відсутність насіння бур'янів.
- Відсутність патогенної мікрофлори.
- Наявність активної мікрофлори, яка сприяє інтенсивному росту рослин. В забродженій масі після метантенку міститься біля  $10^{14}$  колоній мікрофлори на грам, при цьому повністю відсутня патогенна мікрофлора.
- Відсутність адаптаційного періоду. Заброджені добрива завдяки своїй формі починають ефективно працювати відразу після внесенні у ґрунт.
- Добриво у вигляді забродженої маси в порівнянні з нативним гнієм, вимивається з ґрунту не більше 15%. Таким чином, внесені на поля у невеликій кількості заброджені добрива не втрачають свою ефективність на 3-5 років довше, ніж звичайні добрива.
- Максимальне збереження і накопичення азоту. Завдяки анаеробному зброджуванню органічних відходів у біогазовій установці кількість загального азоту зберігається повністю, крім того, вміст розчинного азоту  $\text{NH}_4$  збільшується на 10 - 15%.
- Заброджені органічні добрива є екологічно-чистими добривами.

**Вирішення проблеми утилізації відходів у біогаз та добриво в світі:** ця біотехнологія відбувається за рахунок трансформації різноманітної біомаси у біогаз та добрива в процесі бродіння її органічної речовини метаногенними асоціаціями мікроорганізмів у метантенку в анаеробних умовах.

В даний час існує чимало конструкцій різних типів метантенків або біогазових установок, починаючи від простих установок малої потужності до складних з великими можливостями і продуктивністю, що генерують тепло, електрику і знешкоджене добриво. Тільки в Китаї їх кількість досягає 40 мільйонів. У Європейських країнах існують тисячі генераторів біогазу.

У той же час, існує ряд біотехнологічних проблем із запуску і експлуатації біогазових комплексів, які у світі вирішувалися шляхом створення

національних науково-технічних програм з отриманням біогазу з біомаси, державами забезпечувалися пільги для бізнесменів, які впроваджували ці технології.

**Проблеми впровадження біогазових технологій в Україні.** Незважаючи на те, що в Україні накопичуються у великій кількості сільськогосподарські та комунальні відходи, біогазові технології на території України не знаходять широкого застосування в порівнянні з багатьма іншими країнами. В основному це кілька закуплених закордоном великотоннажних, не самих сучасних, установок для утилізації комунальних та тваринницьких відходів, які ефективно в наших кліматичних умовах не працюють.

*Основні причини проблем, що виникли:* особливості клімату (різкоконтинентальний клімат, з холодними ночами і морозами взимку до  $-29^{\circ}\text{C}$ ), відсутня продумана науково-технічна політика впровадження біогазових технологій, відсутні кваліфіковані спеціалісти в цій галузі.

Оскільки будівництво біогазових станцій в Україні має суттєве значення, так як і для інших країн, що економічно розвиваються, є гостра потреба у подальших дослідженнях конверсії відходів та біомаси у біогаз з урахуванням національних вимог споживачів на внутрішньому ринку.

**Матеріали і методи досліджень.** Досліди з отримання біогазу проводили в лабораторних умовах і на створеному полігоні під Києвом (с. Глеваха Київської області) для отримання відновлювальних джерел енергії з біомаси. В якості біомаси ми використовували органічні відходи сільськогосподарського виробництва, харчової, деревообробної, інших галузей промисловості та відходи комунального сектора. Разом з біогазом після завершення ферментації ми завжди отримуємо шлам, який є не менш цінним продуктом – природні органічні добрива у відновленій формі, які значно краще засвоюються рослинами, ніж звичайні хімічні добрива [8-10]. Методики виділення метаногенних асоціацій та їх культивування представлені в опублікованій авторами літературі [11-16]. Метаногенну активність мікробних асоціацій в лабораторних умовах визначали по споживанню субстрату та за кількістю

отриманого біогазу [17-21]. Культивування метаногенних асоціацій проводили при 30 і 50 °С.

Розрахунок по масштабуванню отриманих результатів може підтвердити дане припущення:

$$V = A \cdot B,$$

де А – вихід біогазу за добу, м<sup>3</sup>/добу, В – тривалість роботи установки, діб.

Аналіз наявності важких металів в осаді стічних вод (ОСВ), визначення вмісту загального азоту, фосфору та калію (N,P,K) в ОСВ [9], аналіз вмісту загального органічного вуглецю [22], дослідження впливу концентрації ОСВ та посліду на вихід біогазу, апробація біодобрива на рослинах, визначення вмісту N, P, K в ОСВ [23], аналіз наявності важких металів в отриманому біодобриві [24, 25], аналіз вмісту загального органічного вуглецю [26].

**Результати та їх обговорення.** Як видно з таблиці 1, в Україні енергетичний потенціал біогазу із гною та органічних відходів може скласти (млн. т.у.п./рік): 1.6, станцій аерації та інших очисних споруд 0.2, із звалищ побутових відходів 0,3.

Важливими причинами для використання біогазових установок також є знешкодження відходів, попередження забруднення повітря парниковими газами, зменшення забруднення водного середовища та ґрунту. Все це повинно бути враховано при визначенні ефективності впровадження біогазогенераторів.

Наш досвід та досвід інших дослідників показують, що продуктивність біогазогенераторів залежить від типу, складу, стану й температури біомаси у біореакторі [27, 28]. Швидкість і масштаби анаеробної ферментації метаногенних бактерій залежать від їх метаболічної активності. Два температурних значення 33 і 54 °С відповідають найвищим метаболічним активностям мезофільного та термофільного режиму, але ця діяльність майже повністю припиняється при температурі нижче 15 °С [5, 6]. Крім того, слід зазначити, що кількість і склад біогазу, який буде отримуватися під час розкладання біомаси як сировини залежить як від співвідношення в ній

C : H : O : N, так і від співвідношення мікробних угруповань метаногенної асоціації [16, 17, 27, 28].

Проаналізувавши роботу зроблених в Україні метантенків на Бортницькій станції аерації, ми з'ясували, що три метантенки працюють в режимі «проточної труби» при 55 °С і, в основному, використовуються для знешкодження стічних міських комунальних вод міста Києва (рис. 1). При цьому утворюється незначна кількість отриманого біогазу, який спалюється в котельній станції для економії природного газу.



*a)*



*б)*

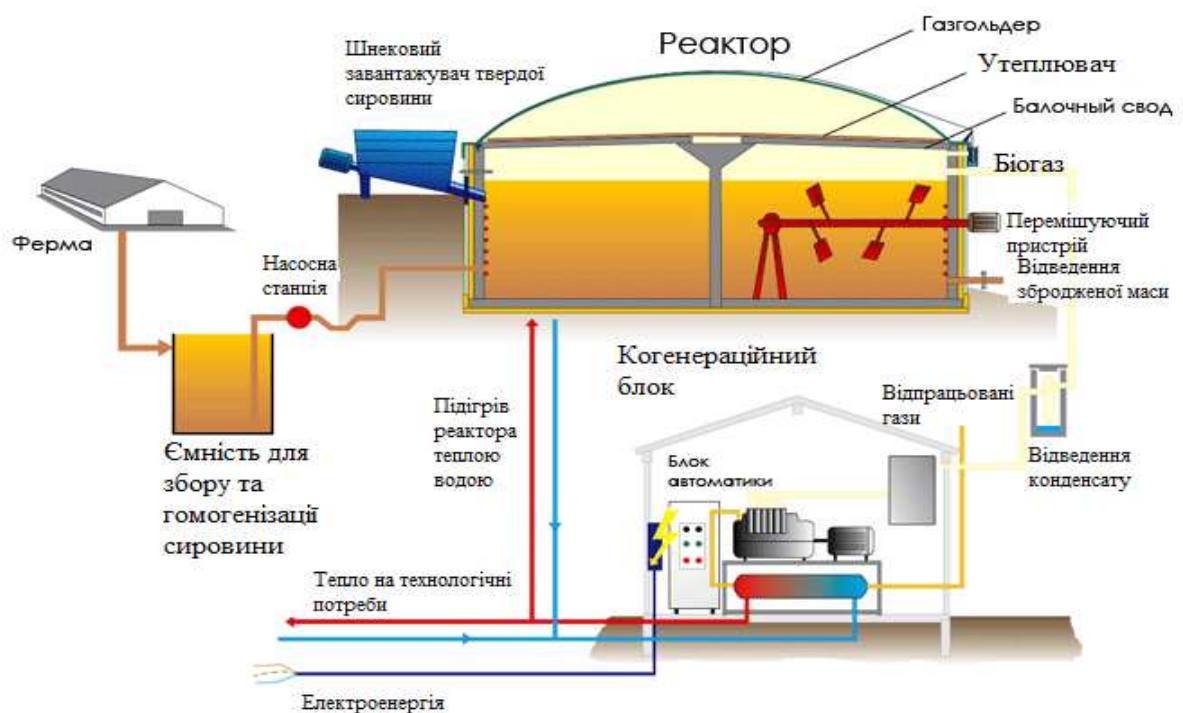
**Рис. 1. Метантенк (а) та поля фільтрації (б) на станції аерації в Бортничях м. Київ**

В той же час сьогодні активний мул після метантенків та аеротенків вже багато років накопичується на мулових полях станції (біля 1 707 590 м<sup>3</sup>/рік), проявляючи значну метаногенну активність, забруднюючи повітря міста парниковими газами, створює пожежні небезпечні ситуації і займає все більші площі території станції, становлячи все зростаючу велику екологічну загрозу станції і місту Києву.

На базі раніше проведених досліджень ми показали, що цей мул можна використовувати в якості джерела енергії та добрива. Це дозволило б вивозити мул за межі території станції і зменшити антропогенний тиск на природне середовище та безпеку виникнення пожеж на самій станції аерації [8, 10].

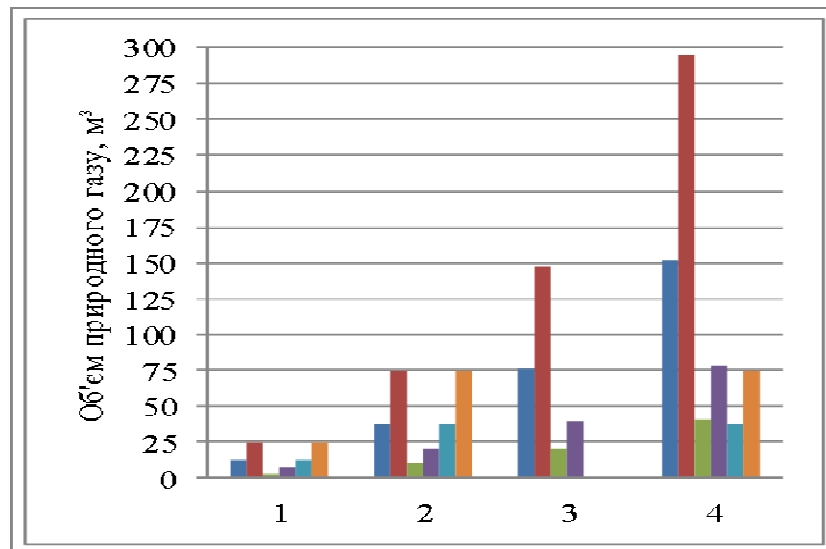


Біотехнологічне виробництво біогазу та добрива можна організувати не тільки при знешкодженні та утилізації комунально-побутових відходів, але і використовувати для цього відходи тваринництва. Сьогодні пропонується і широко використовується в Європейських країнах біотехнологічна схема утилізації відходів в біогаз і добрива з одночасним отриманням з відходів електроенергії. Дана технологія дозволяє виробляти відновлювальну сировину для отримання електроенергії в режимі когенерації і зробити фермерське підприємство майже автономним від споживання енергоносіїв (рис. 2).



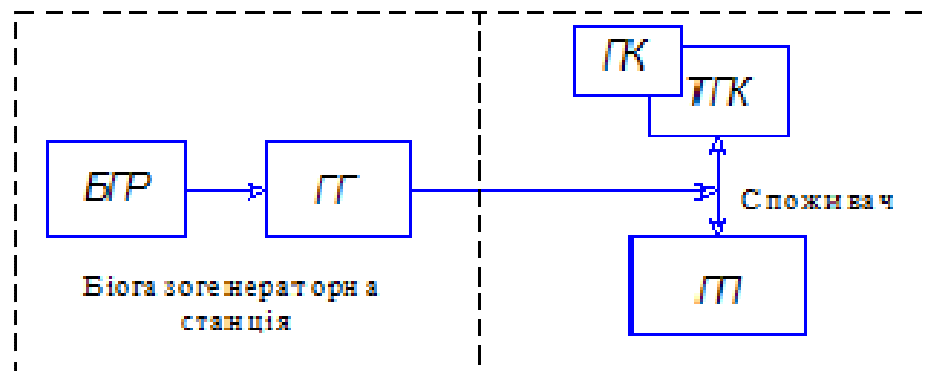
**Рис. 2. Технологічна схема отримання біогазу, добрива та електроенергії з тваринницьких відходів у сільському господарстві [29]**

Для великих заводів та господарств дана схема є ефективною для реалізації, але для малих господарств та індивідуальних присадибних ділянок необхідна розробка та модернізація проектів, які будуть задовольняти енергетичні потреби споживачів за мінімальних ресурсів, що будуть доступні. Для цього необхідно розглянути потреби таких господарств у газі за різних умов його споживання (рис. 3).



**Рис. 3.** Середні витрати природного газу ( $\text{m}^3$ ) на приготування їжі для людей на комунальній плиті (1 – за місяць, 2 – за три місяці, 3 – за півроку, 4 – за рік), при умові їх перебування цілий день у приміщенні проживання (синій – 1 особа, червоний – 3 особи); при перебуванні їх на дачі по вихідних (зелений – 1 особа, фіолетовий – 3 особи); при перебуванні їх у дачних будинках у літній період (синій – 1 особа, помаранчевий – 3 особи)

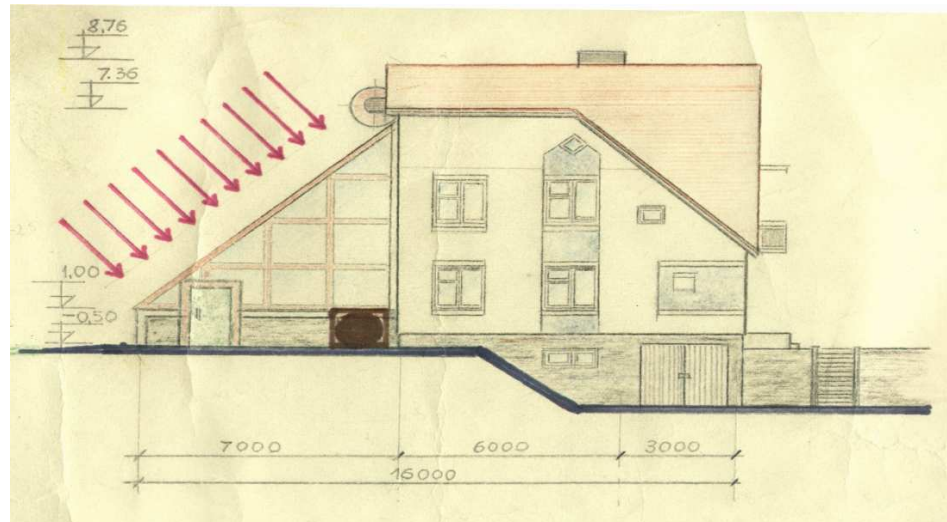
Для задоволення потреб у біогазі малих господарств запропонована технологічна схема отримання біогазу з високим відсотком отримання біометану (рис. 4).



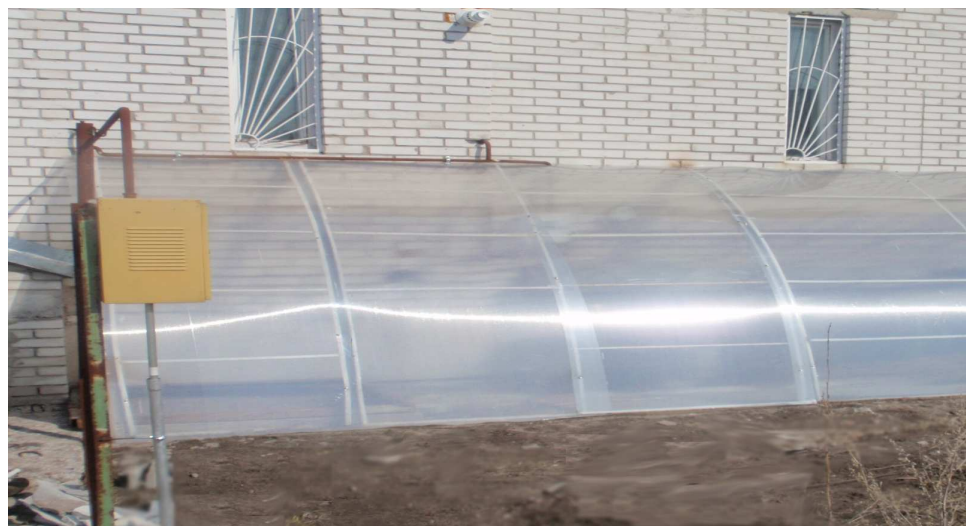
**Рис. 4.** Принципова схема отримання та використання біогазу

Розроблена принципова схема біогазогенераторної станції для споживачів біогазу в комунальному секторі у малих об'ємах, до  $6 \text{ m}^3/\text{добу}$ . (Для дачних маєтків, малих і середньофермерських господарств, власних будинків з застосуванням дискретної системи завантаження-розвантаження органіки, де: БГР – біогазовий реактор; ГГ – газгольдер; ГК – газовий котел; ТГК – тепловий газовий конвектор; ГП – газова плита).

Для реалізації на практиці вище представленої принципової схеми розроблений та збудований енерго-, екологічнозберігаючий комплекс з енергетично взаємодіючими елементами: *будинок – теплиця – біогазовий реактор* (рис. 5, 6).

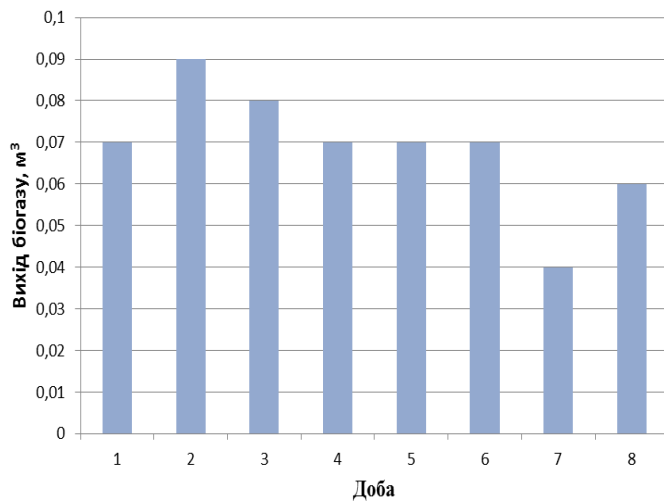


**Рис. 5. Схема енергозберігаючого комплексу отримання біогазу на базі будинку з енергетично взаємодіючими елементами: будинок – теплиця – газогенератор**



**Рис. 6. Дослідний енергозберігаючий комплекс отримання біогазу на базі будинку з енергетично взаємодіючими елементами: будинок – теплиця – біогазогенератор (біогазогенераційна система ВП-1 на модульній основі)**

Така система працює з виходом біогазу, що може задовольняти потреби стандартної газової плити (рис. 7) і забезпечити перехід цих систем з енергозберігаючих в енергоактивні комплекси з генерацією відновлювальної енергії [19-22].



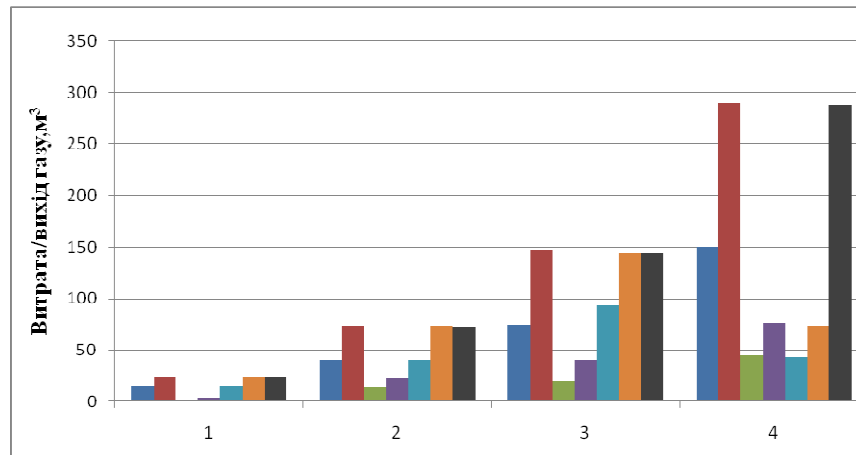
*a)*



*б)*

**Рис. 7. Утворення біогазу (м<sup>3</sup>/добу) однією модульною системою газогенератора ВП-1 за перший рік експлуатації (у липні, серпні) – (а), демонстрація отриманого газу на стандартній конфорці – (б)**

Як видно з графіку (рис. 7) вихід біогазу не є постійною величиною і змінюється в процесі переробки субстрату. Зроблені нами підрахунки вказують, що якщо взяти генератор об'ємом 1 м<sup>3</sup> з виходом за добу 0,8 м<sup>3</sup> біогазу, то він перекриває витрату газу як на 1 особу – 20 м<sup>3</sup> на місяць, так і на 3 особи - 24 м<sup>3</sup> на місяць. Для порівняння на графіку (рис. 8) показано витрати комунального газу та вихід біометану з біогазової установки, яка може задовольнити потреби споживачів у дачних будинках, присадибних маєтках та малих господарствах. Після закінчення процесу бродіння з сировини, рештки залишків сировини можна використовувати як органо-мінеральне добриво.



**Рис. 8. Середні витрати природного газу ( $\text{m}^3$ ) на приготування їжі для людей на комунальній плиті та продуктивність отримання біометану біогазогенератором об'ємом  $1\text{m}^3$  – сірий колір, (1 – за місяць, 2 – за три місяці, 3 – за півроку, 4 – за рік), при умові їх перебування цілий день у приміщенні проживання (синій – 1 особа, червоний – 3 особи); при перебуванні їх на дачі по вихідних (зелений – 1 особа, фіолетовий – 3 особи); при перебуванні їх на дачі у літній період (синій – 1 особа, помаранчевий – 3 особи)**

Як було вже сказано вище, склад біогазу є подібним до складу природного газу, але більш екологічно чистий, адже він отримується з біомаси, яка в процесі свого утворення фіксувала атмосферний вуглекислий газ, тобто можна сказати, що цей газ є нейтральним по відношенню до формування парникового ефекту. Але на даний час стає відомо все більше фірм, що проводять переобладнання автомобілів тільки на природний газ, а перевід автомобільної техніки на біогаз тільки досліджується окремими установами та фірмами.

Автомобілі на природному газі є не тільки економічними, але й екологічними. В принципі, витрата газу на автомобілі залежить як від якості переобладнання, так і від робочого об'єму двигуна. Такі компанії у Європі як Volvo, Scania та Volkswagen виробляють автомобілі саме для використання метану. Так, у випадку Volvo використовується система, що працює на метані

та дизелі, а фольксваген випустив модель Volkswagen Passat TSI EcoFuel, що працює на природному газі.

Коли в балонах є газ, машина використовує його, бензин же задіюється при прогріванні двигуна і при відсутності газу. І це не дивно, адже метан при згорянні майже не виділяє шкідливих речовин, та й вартість цього палива значно нижча. Але не все так просто. Щоб змусити працювати двигун внутрішнього згорання на метані, тиск газу потрібно знизити з 198 атмосфер в балонах до 5,8. Для цього використовують спеціальний регулятор тиску, у двигуні посилюють клапани, поршні і поршневі кільця для збереження ресурсу в умовах відсутності природного мастила у паливі і підвищеного пікового тиску згорання. Компактні розміри в поєднанні з передовими системами безпосереднього уприскування і турбокомпресором дозволили «розвантажити» підкапотний простір і зменшити об'єм двигуна, забезпечивши при цьому можливість прокладки додаткових газових паливопроводів. Унікальні якості нових вантажівок Volvo FM MethaneDiesel дозволять підвищити ступінь універсальності автопарку, так як вони здатні забезпечити більш широкий спектр перевезень у порівнянні із звичайними автомобілями, які використовують газ. Унікальною є їх здатність працювати тільки на дизельному паливі, якщо неможливо заправити машину газом. Це ще більше підвищує рівень гнучкості, дозволяючи транспортним компаніям забезпечити роботу без простоїв.

Принцип використання метану та дизельного палива, розроблений в компанії Volvo, забезпечує роботу високопродуктивних дизельних двигунів на природному газі або на біогазі. Для регіональних перевезень, або перевезень на далекі відстані це відповідає 75% часу роботи на газі і 25% роботи на дизельному паливі. Завдяки тому, що повністю збереглася основна базова конструкція дизельного двигуна, збереглася і його енергоефективність. Вантажівка здатна в будь-який час працювати повністю на дизельному паливі.

Крім скорочення витрат на паливо, перехід з дизельного палива на метан дозволяє скоротити викиди вуглекислого газу у порівнянні з типовими

дизельними двигунами на 70% при використанні газу. Якщо ж сказати про переобладнання автомобіля, то перехід на газ знижує витрати, пов'язані із заправкою автомобіля, приблизно на 41- 47% (при використанні пропан-бутану) та на 62-66% (при використанні метану). Однак, потрібно враховувати, що витрата пропан-бутану на карбюраторному автомобілі, обладнаному газобалонним обладнанням (ГБО), збільшиться приблизно на 20% у порівнянні з витратою бензину. Інжекторна ж паливна система буде витратити всього на кілька відсотків більше. Витрата метану буде приблизно дорівнювати витраті бензину. Окупність пропанового ГБО на автомобілях з великим щомісячним пробігом (наприклад, таксі) може скласти 3-5 місяців. Метанове ГБО буде окупатися довше через більш високу його вартість.

Дизельні автомобілі найчастіше не переводяться повністю на газ, оскільки в такому разі довелося б серйозно модифікувати сам двигун. Зазвичай встановлюється гібридний газодизельний варіант. У циліндри подається метан, але в кінці такту стиснення надходить також невелика порція дизельного палива. Вона підпалює газ, який не може самостійно спалахнути від стиснення. У циліндрах перед займанням знаходиться приблизно 70% метану і 30% солярки. Така пропорція зберігається при їзді по замських трасах. При русі автомобіля на низьких передачах (режим, характерний для міста), співвідношення газу і дизельного палива змінюється в зворотному порядку.

Крім прямої економічної вигоди є і ряд інших переваг газобалонного обладнання. Перш за все, ГБО є всього лише додатковою системою і не вимагає глобальної переробки двигуна. Поряд з цим, воно дозволяє використовувати як газ, так і традиційні види палива в одному автомобілі. Значно збільшується і запас ходу, оскільки машина оснащена паливним баком і одним або декількома газовими балонами. Газ набагато менше забруднює масло в двигуні, і заміну масла можна проводити рідше. Приблизно на 70% знижується викид шкідливих речовин в атмосферу. Газоповітряна суміш зменшує утворення нагару на поршнях і голівці блоку циліндрів. Газ не містить речовин, що руйнують каталізатор або лямбда-зонд. Збільшується і термін служби свічок. Оскільки газ

володіє високим октановим числом, він не викликає в двигуні детонаційні процеси. Автомобіль з ГБО працює тихіше. На газодизельних автомобілях спостерігається підвищення потужності і досягнення максимального крутного моменту на більш низьких обертах, що важливо для вантажівок великої вантажопідйомності.

*Які очікуються проблеми і незручності?*

Одна з основних незручностей ГБО – це газові балони. У легковому автомобілі вони розміщуються, як правило, в багажнику. Балон циліндричної форми займає частину корисної площі багажника. Тороїдальний балон встановлюють в ніші запасного колеса, що також не дуже зручно.

На джипах і пікапах, його можна помістити під днищем автомобіля. Пропановий балон важить близько 25 кг. Метановий, у зв'язку з тим, що він повинен витримувати високий тиск біля 200 атмосфер, важить в два-три рази більше. Враховуючи сказане та через високу ціну, метанове ГБО майже не встановлюють на легкові автомобілі. Вантажівки або автобуси оснащують метановими балонами у кількості 4-12 штук.

*Недоліки системи ГБО:*

1. Газове обладнання вимагає періодично зливу з системи конденсату, який утворюється при їзді на газі і скупчується в редукторі. Дана процедура не вимагає особливих знань і навичок, тому не представляє особливої проблеми.

2. В інструкціях з експлуатації ГБО сказано, що заводити автомобіль потрібно на бензині і лише після прогрівання перемикатися на газ (хороші системи роблять це автоматично). Якщо експлуатувати автомобіль тільки на газі, то бензинова паливна система може швидко прийти в непридатність. Неправильно налаштована газова система може призвести до серйозних пошкоджень двигуна аж до розриву випускного колектора.

3. Газове обладнання важить в середньому 30-40 кг. Тому це хоч і не значно, але все таки збільшує загальну масу автомобіля.

4. Для системи ГБО слід виділити місце в багажнику, що зменшить його корисний об'єм.



5. Автомобіль на газі втрачає в середньому 10% потужності, а якщо мова йде про метан то часом до 30%, що істотно позначається на його вантажній ємності, особливо це позначається на автомобілях з невеликим об'ємом двигуна.

6. Як правило, новий автомобіль знімається з гарантії, якщо його переводять на газ. Тільки на деякі китайські і російські марки автомобілів можна встановити газ на фірмовій СТО при збереженні гарантії. Виробники нових машин таких послуг не надають, мотивуючи це тим, що автомобіль розроблявся для експлуатації на рідкому паливі, і автовиробник не може гарантувати нормальну роботу автомобіля на газі.

7. Машина, обладнана газовою установкою, повинна мати відповідну позначку в техпаспорті. Тим, хто збирається купити автомобіль і перевести його на використання газу, варто встановити ГБО до постановки автомобіля на облік в ДАІ, в іншому випадку доведеться міняти техпаспорт.

#### *Переваги установки ГБО:*

1. Переваги автомобіля, обладнаного ГБО (як вже було сказано на початку цієї статті), – це економія при його експлуатації за рахунок меншої вартості ціни газу по відношенню до бензину (приблизно в 2 рази).

2. Двигун, який працює на газі, рідше потребує технічного обслуговування, довше служить моторне масло, так як газ не містить такі шкідливі домішки які є в бензині, при цьому міжсервісний інтервал можна сміливо збільшувати з 10 до 15 тис. км

3. Величезним плюсом є економія на транспортному зборі. Автомобілісти, які перевели автомобіль на газ, отримують «знижку» 50%, тому що автомобіль на газі набагато чистіше екологічно. Для власників машин з великим об'ємом двигуна це досить суттєво.

У таблиці 2 наведено витрати палива на легкових та вантажних автомобілях, включаючи і переобладнані під метан.

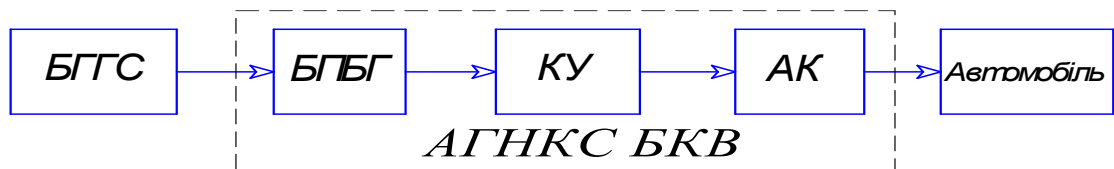
Таблиця 2

**Витрата палива різними марками автомобілів**

Марка автомобіля	Об'єм двигуна, см <sup>3</sup>	Потужність, кВт	Витрата бензина/дизеля, л/100км	Витрата природного газу, м <sup>3</sup> /100 км
Daewoo Lanos 1.5i MT	1498	63,3	10,4/5,2	10
Daewoo Lanos 1,6	1598	77,0	8,0	7
Iveco Daily	3000	100,3	13,0-15,0	18
ГАЗ-3302	2300	66,0	16,0	18
КАМАЗ 43114	10800	225,0	30,0	32
Трактор МТЗ-80	4750	59,0	2,5	14

В Україні автомобілісти вважають, що за параметрами ціна/якість найбільш популярним серед них є автомобіль Daewoo Lanos з двигуном 1,6 і економічно доцільно їздити на такому автомобілі кожного дня на відстань не більше 100 км. Оскільки ціни на бензинове, дизельне, пропан-бутанове автомобільне паливо невпинно зростають, вже сьогодні автомобілісти встановлюють ГБО і переводять автотехніку на газ метан. При прийнятих вихідних даних витрата двигуном метану буде складати біля 6,9 м<sup>3</sup> на 100 км. При щоденних поїздках на вказану відстань знадобиться 49 м<sup>3</sup> газу на тиждень, і, відповідно, 210 м<sup>3</sup> на місяць.

Для використання біогазу у якості автомобільного палива нами створена принципова схема його отримання та заправки автомобіля в умовах малих господарств, яка відрізняється від попередньої (рис. 4) більш високою продуктивністю і тим, що вона має окремий модуль – автомобільні газонаповнювальні компресорні станції блочно-контейнерного типу (рис. 9).



**Рис. 9. Схема біогазової станції для споживачів біогазу з більш високою продуктивністю і з окремим модулем автомобільної газонаповнювальної компресорної станції блочно-контейнерного типу. БГГС – біогазогенераційна система; КУ – компресорна установка; АК – акумулятор; АГНКС БКВ – автомобільна газонаповнювальна компресорна станція блочно-контейнерного виконання; БГГС – біогазогенераторна станція**

Раніше нами показано, що при об'ємі реактора нашої біогазогенераційної системи  $1 \text{ м}^3$  можна отримувати вихід метану  $0,8 \text{ м}^3$  за добу. Якщо дану систему масштабувати, то об'єм  $8,75 \text{ м}^3$  задовольнить потреби користувача у біогазі для легкового автомобіля. Для об'єднання потреб споживача для газової плити та автомобіля для поїздок вдень на відстань на 100 км необхідний загальний об'єм газогенераторної системи ВП-1 не менше  $10 \text{ м}^3$ .

Очікуваний економічний ефект від переведення легкових автомобілів на газове паливо представлений у таблиці 3.

*Таблиця 3*

**Економічний ефект при експлуатації легкових автомобілів на газі у якості моторного палива\***

Паливо	Витрата палива на 100 км	Ціна палива, грн.**	Витрата коштів, грн.	Витрата коштів за місяць, грн.	Економія, грн.	Ціна ГБО	Окупність ГБО, місяці
Бензин А-95	7 л	11,08/л	77,56	2326,80	-	-	-
Пропан-бутан	9 л	5,89/л	50,07	1501,95	825	5500	7
Природний газ	$7 \text{ м}^3$	$6,22/\text{м}^3$	43,54	1306,20	1021	7000	7
Біогаз	$7 \text{ м}^3$	$3,11/\text{м}^3$	21,77	653,10	1673	17000	10

\*Розрахунок зроблено на основі даних про вартість бензину, пропан-бутану, метану, вартості ГБО разом з компресором для стиснення газу, балоном для збереження газу та вартості електроенергії.

\*\* Середні роздрібні ціни в Україні (станом на 06.11.2012г).

Як видно з представлених у таблиці даних, економічно доцільно використовувати біометан для легкової автотранспортної техніки.

Ціни на переобладнання транспорту на газ та на паливо, крім біогазу, є відомими величинами. Якщо ціну за сировину та ціну газогенераційної системи для отримання біогазу перенести на ціну добрива, яке виробляється одночасно з отриманням із сировини біогазу, тоді в ціну біогазу вони не будуть входити і основним джерелом витрат стають витрати, що пов'язані з його стисненням та заправкою в балон. Для проведення цих процесів пропонується використовувати насоси високого тиску (на базі авіаційного чи танкового компресора АК-150) з потужністю 3 кВт, що за 4 годин роботи стискають  $20 \text{ м}^3$  газу. Якщо припустити, що при роботі компресор витратить 3 кВт за годину і працюватиме 4 години, тоді за місяць при щоденній роботі даний агрегат буде споживати 360 кВт електроенергії, що тарифікуватиметься за ціною 0,34 грн. за кіловат-годину. При стисненні  $20 \text{ м}^3$  газу в день ціна за спожиту електроенергію буде 4.37 грн. А якщо взяти питому витрату електроенергії для  $1 \text{ м}^3$  газу, то це складатиме 0.22 грн за  $\text{м}^3$ . Але витрати електроенергії не повністю характеризують собівартість газу, тому ми пропонуємо брати ціну за біогазове паливо для автотехніки у два рази дешевше від ціни на природний газ. Ціна обладнання для стиснення і заправки автомобілів варіює від 7000 грн до 35 000 грн. Нами взяте мінімальне значення – 10000 грн, а тому вартість ГБО та установки для стиснення біогазу складатиме 17000 грн. Окупність ГБО при його установці за умови щоденного пробігу 100 км складатиме 7 місяців при використанні пропан-бутану та природного газу, а для біогазу, що матиме вартість 3,11 грн за  $\text{м}^3$  це обладнання окупиться за 10 місяців.

Аналогічні розрахунки зроблені для вантажного автомобіля ГАЗ 3302, за аналогічних умов експлуатації (табл. 4).

Таблиця 4

**Економічний ефект від використання біогазу як моторного палива для вантажного автомобіля**

Паливо	Витрата палива на 100 км	Ціна палива, грн.	Витрата коштів, грн.	Витрата коштів за місяць	Економія, грн.	Ціна ГБО, грн.	Окупність ГБО, місяці
Дизель	16 л	10,07 л	161,12	4833,6		-	
Пропан-бутан	20 л	5,89 л	117,8	3534,0	1299,6	3060	1
Природний газ	16 м <sup>3</sup>	6,22 м <sup>3</sup>	99,52	2985,6	1848,0	7000	4
Біогаз	16 м <sup>3</sup>	3,11 м <sup>3</sup>	49,76	1495,8	3340,8	17000	5

Як видно з наведеної таблиці, окупність ГБО складатиме 5 місяців. При цьому об'єм газогенераційної системи для задоволення потреб вантажного автомобіля складатиме 20 м<sup>3</sup>.

Як компресор, так і об'єм газгольдера вибираються залежно від рівня споживання газу. Автомобільні та авіаційні компресори малої продуктивності і потужності можуть використовуватись як компресорні агрегати для цих біогазогенеруючих станцій.

Таким чином, біогазогенеруюча модульна система ВП-1, яка була розроблена, нами розглядається як складна багаторівнева система, яка може забезпечити знешкодження та утилізацію органічних побутових (комунальні) відходів, включаючи тверді побутові відходи, сільськогосподарські, відходи харчової промисловості; трансформацію іншої біомаси у екологічно чисте паливо для комунальних енергетичних установок, автотранспортної техніки та для отримання добрива.

## ВИСНОВКИ

1. Встановлені позитивні перспективи трансформації біомаси та відходів у відновлювальні види енергоносіїв в Україні.

2. На базі проведених науково-технічних розробок запропоновано новий підхід утилізації осаду комунально-побутових стоків у біогаз та добрива, що дозволить впроваджувати безвідходні біотехнології отримання біогазу та органо-мінеральні добрива з шкідливих відходів.

3. Розроблена та опрацьована в робочих умовах полігону біогазогенераційна модульна система типу ВП-1, модулі якої здатні забезпечувати знешкодження шкідливих відходів, отримувати з них складне але дешеве органо-мінеральне добриво, збільшити вихід газового палива з відходів у порівнянні з існуючими біореакторами в кілька разів, забезпечити екологічну охорону довкілля від забруднення органічними відходами, розширити можливості використання малих біоенергетичних установок в присадибних та фермерських маєтках, комунальних господарствах, підвищити ефективність енергетичних систем, які мають трансформувати відходи в паливо.

4. Загальний мінімальний об'єм газогенераторних систем ВП-1 доцільно мати не менше  $1 \text{ м}^3$  при їх використанні для комунальних газових плит в якості палива на дачних та присадибних маєтках і забезпечити перехід комунально-виробничих систем (будинки-теплиця) з енергозберігаючих в енергоактивні комплекси з генерацією відновлювальної енергії.

5. Показана технологічна, технічна, економічна перспектива можливості використання у майбутньому біогазу як палива для автотранспорту.

6. Мінімумально необхідний об'єм біогазогенераційної системи типу ВП-1 для можливості використання біогазу як палива для легкового автомобіля при його витраті  $7 \text{ м}^3$  на  $100 \text{ км}$  має скласти не менше  $8,75 \text{ м}^3$ . При цьому вартість біогазу складе менше половини вартості метану за  $1 \text{ м}^3$  біогазу. Для задоволення потреб вантажного автомобіля об'єм біогазогенераційної системи має бути не менше  $20 \text{ м}^3$ .

7. Встановлені факти, які вказують що двигун, який працює на газі, рідше потребує технічного обслуговування і є більш екологічним.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Баадер В. Биогаз: теория и практика / В. Баадер, Е. Доне, М. Бренндерфер ; [Пер. с нем. М.И. Серебряного]. – М.: Колос, 1982. – 148 с.

2. Карпенко В. И. Биотехнология в сельском хозяйстве и промышленности / В. И. Карпенко, Н. В. Реутская, Т. А. Игнатова // Сб: Технологическая биоэнергетика. – 1988. – Выпуск 3. – С. 97.

3. Карпенко В.І. Перспективи отримання палива з використанням природних і штучно створених біосистем / Карпенко В. І., Чернишенко Д. В. // Україна: людина, суспільство, природа: міжнародна наукова студентська конференція: тези доп. – К.: ВД "Києво-Могилянська академія", 1995. – С. 25.

4. Карпенко В.І. Біотехнологічні можливості біоенергетичних систем конверсії сонячної енергії в паливо / Карпенко В.І., Попович М.С. // Україна: людина, суспільство, природа: міжнародна наукова студентська конференція: тези доп. – К.: ВД "Києво-Могилянська академія", 1995. – С. 112-114.

5. Державні закупівлі. – Режим доступу: <https://tender.me.gov.ua/EDZFrontOffice/>

6. Анаэробная конверсия свиного навоза в биогаз и органоминеральные удобрения / Карпенко В.И., Малашенко Ю.Р., Мучник Ф.В., Ястремская Л.С. // VII съезд украинского микробиологического общества. – Черновцы-Киев: Изд-во. АН Укр. ССР, 1989. – Ч.1. – С. 120.

7. Карпенко В.І. Отримання високоякісних добрив та біогазу з відходів тваринництва / Карпенко В.І., Маслич Б.К. // Україна: людина, суспільство, природа: міжнародна наукова студентська конференція: тези доп. – К.: ВД "Києво-Могилянська академія", 1995. – С. 7.

8. Карпенко В.І. Утилізація осаду стічних вод комунальних підприємств з отриманням біопалива та біодобрива / Карпенко В.І., Дегтяр Д.І. // Національна екологічна політика в контексті європейської інтеграції України: матеріали

Міжнар. наук.-практ. конф., 27 жовтня 2010 р. / Міжнар. екол. форум "Довкілля 2010". – К.: Центр екологічної освіти та інформації, 2010. – С. 276-279.

9. Почвы. Требования к свойствам осадков сточных вод при использовании их в качестве удобрений. – ГОСТ Р 17.4.3.07-2001. – [Действующий с 2001-01-23]. – М.: Стандартиформ, 2001. – 5 с.

10. Дегтяр Д.І. Утилізація осаду стічних вод комунальних підприємств з отриманням біопалива та біодобрива / Д.І. Дегтяр, О.В. Горлінський, В.І. Карпенко // Проблеми екологічної біотехнології. – 2012. – № 1. – Режим доступу: <http://jrn1.nau.edu.ua/index.php/ecobiotech/article/view/773/750>

11. Karpenko V.I. Temperature rates of organic waste batch and continuous fermentations in methane-tanks / V.I. Karpenko // 6-th international symposium on microbial ecology. - Barselona, Spain. – 1992. – P. 35.

12. Карпенко В.І. Трансформація органічних сполук у метан виділеними анаеробними бактеріями / Карпенко В.І., Ястремська Л.С., Романовська В.О. // "Енергетика. Екологія. Людина", Міжнародний енергоекологічний конгрес. – К. : [б.в.], 2006.

13. Карпенко В.І. Культивування метаногенних та целлюлозітичних мікроорганізмів на відходах сільського господарства з ціллю отримання енергоносіїв / Карпенко В.І., Масліч Б.В. // Загрязнение окружающей среды. Проблемы токсикологии и эпидемиологии: Тез. докл. междунар. конф. Москва-Пермь 11-19 мая 1993 г. – Пермь: [б. и.], 1993. – С. 15.

14. Метаногенез термофильного консорциума на метаноле / [Карпенко В.И., Гринберг Т.А., Панцхава Е.С., Романовская В.А.] // Биология термофильных микроорганизмов. – М.: Наука, 1986. С. 136-138.

15. Метаногенез термофильного консорциума на метаноле / [Карпенко В.И., Гринберг Т.А., Панцхава Е.С., Романовская В.А.] // Всесоюзная конференция "Термофильные микроорганизмы в природе и практике народного хозяйства". – М.: Академия наук СССР. – С. 88.

16. Взаємодія мікробних популяцій у метаногенних асоціаціях і шляхи збільшення виходу метану в метантенках / [Карпенко В.І., Ястремська Л.С.,



Голодок Л.П. та ін.] // Вісник Дніпропетровського Університету. Сер. Біологія. Екологія. – 2006. – № 3/1. – С. 80-85.

17. Факторы, лимитирующие биоконверсию растительного сырья в биотопливо / [Карпенко В.И., Романовская В.А., Ястремская Л.С., Панцхава Е.С.] // Международный симпозиум “Биоконверсия солнечной энергии”. – Пущино: [б. и.], 1984. – С. 185-190.

18. The depolarization of primaries of oxidizing-reducing potential with high salt concentration in the microbe suspension / [Karpenko V.I., Evseev A.E., Pysarev S.I., Chernyshenko D.Y.] // Fifteenth Symposium on Biotechnology for Fuels and Chemicals Announcement and Call for Papers. – Colorado, USA, May 10-14. – 1993. – P. 177.

19. Isolation of enrichment microbial cultures converting brown coal to gaseous energy sources / Karpenko V.I., Yastremskaya L.S., Romanovskaya V.A. and others // Eleventh symposium on Biotechnology for Fuels and Chemicals. – Colorado Springs, Colorado, USA. – May 8-12, 1989.

20. Karpenko V.I. Temperature rates of organic waste batch and continuous fermentations in methane-tanks / V.I. Karpenko // 6-th international symposium on microbial ecology. – Barselona, Spain, 1-6 September. – 1992. – P. 35.

21. Деполяризація датчиків окислювально - відновлювального потенціалу в процесах мікробного синтезу / [Карпенко В.І., Чернищенко Д.В., Евсеев А.Е., Пісарев С.І.] // Мікробіологічний журнал. – 1994. – С. 91-95.

22. Почвы. Методы определения органического вещества. – ГОСТ 26213-91. – [Действующий с 1993-07-01]. – М.: Издательство стандартов, 1992. – 6 с.

23. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. – ГОСТ 26207-91. – [Действующий с 1993-07-01]. – М.: Издательство стандартов, 1992. – 6 с.

24. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв / Е.В. Аринушкина. – М.: Агропромиздат, 1992. – с. 315.

25. Грунты. Методы лабораторного определения содержания органических веществ. – ГОСТ 23740-79. – [Действующий с 1979-06-20]. – М.: Издательство стандартов, 1987. – 24 с.

26. Беспмятнов Г.П. Предельно допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде. Справочник / Г.П. Беспмятнов. – Л.: Химия, 2000. – 528 с.

27. Закономірності трансформації полімерних сполук у метан термофільними анаеробними бактеріями / [Карпенко В.І., Ястремская Л.С., Голодок Л.П. и др.] // Вісник Дніпропетровського Університету. Сер. Біологія. Екологія. – 2006. – № 4/1. – С. 79-84.

28. Карпенко В. Вплив солей заліза на метанове бродіння стічних вод харчових виробництв / В. Карпенко, В. Широких, О. Стабнікова // Україна: людина, суспільство, природа: міжнародна наукова студентська конференція: тези доп. – К.: ВД "Києво-Могилянська академія", 1997. – С. 108-110.

29. Эдер Б., Шульц Х., Биогазовые установки: Практическое пособие. – 2006. – Режим доступа: [http://zorgbiogas.ru/upload/pdf/Biogas\\_plants\\_Practics.pdf](http://zorgbiogas.ru/upload/pdf/Biogas_plants_Practics.pdf)

## **УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ С ПОЛУЧЕНИЕМ БИОТОПЛИВА И УДОБРЕНИЙ**

*В. И. КАРПЕНКО<sup>1</sup>, В. В. КОЗЛОВ<sup>1</sup>, Л. П. ГОЛОДОК<sup>2</sup>, О. В. ГОРЛИНСКИЙ<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Национальный авиационный университет, г. Киев*

*<sup>2</sup>Днепропетровский национальный университет*

*Проведены научные разработки и предложен новый подход к утилизации осадка коммунально-бытовых стоков в биогаз и удобрения, который позволит внедрять безотходные биотехнологии получения биогаза и органоминеральных удобрений из вредных коммунальных отходов. Разработаны и отлажены в рабочих условиях биогазогенерирующие системы типа ВП-1,*

*которые способны обезвреживать вредные отходы, получать из них сложное органо-минеральное удобрение, увеличить выход газового топлива из отходов в сравнении с существующими биореакторами в несколько раз, обеспечить экологическую охрану окружающей среды от загрязнения органическими отходами, расширить возможности использования малых биоэнергетических установок в приусадебных и фермерских домах, повысить эффективность энергетических систем, которые должны трансформировать отходы в топливо.*

**Ключевые слова:** *биомасса, утилизация органических отходов, биотопливо, биогаз, удобрение*

## **UTILIZATION OF WASTE WITH BIOFUEL AND FERTILIZERS OBTAINING**

**V. I. KARPENKO<sup>1</sup>, V. V. KOZLOV<sup>1</sup>, L. P. GOLODOK<sup>2</sup>, O. V. GORLINSKY<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*National Aviation University, Kiev*

<sup>2</sup>*Dnipropetrovsk National University*

*Scientific developments have taken place and there has been offered a new approach to utilization of sediment from municipal sewage for receiving biogas and fertilizers. That will allow for implementation of the zero-emission biotechnologies of receiving biogas and organic- mineral fertilizers from harmful communal wastes. Biogas generating systems of VP - 1 type have been developed and tested in experimental conditions. These systems are able to eliminate harmful waste, receive a complex organic-mineral fertilizer from this waste, increase a few times the exit of gas fuel from the waste as compared to existing fermenters (bioreactors), provide the protection of the environment from organic waste contamination, extend the possibilities of using small bioenergy systems in country cottage yards and farm estates, and increase the efficiency of the energy systems that have to transform waste into fuel.*

**Key words:** *biomass, utilization of organic wastes, biofuel, biogas, fertilizer*