

## БІОГАЗ ІЗ ВІДХОДІВ НА СМІТТЄЗВАЛИЩАХ ЯК АВТОМОБІЛЬНЕ ПАЛИВО

Т.В. Дукун, Л.І. Гаєва, Я.М. Дем'янчук, Т.Й. Войцехівська, Я.А. Гуцуляк

ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (0342) 727148,  
e-mail: trans@ukr.net

*Актуальність проблеми ефективного використання традиційних джерел енергії і пошук альтернативних ресурсів не викликає сумніву. На сьогодні в Україні майже не використовується потенціал низькокалорійних газів, що у значній кількості виробляються сільським господарством та промисловістю, зокрема біогазу, синтез-газу, генераторного і піролізного газів, шахтного газу тощо. Кількість існуючих вітчизняних установок з утилізації цих газів є незначним, хоча у більшості розвинених країнах налічується сотні і тисячі таких установок.*

*Одним з перспективних джерел енергії є біогаз сміттєзвалищ, який на сьогодні викидається в атмосферу і забруднює її, або спалюється у факельних установках. Проте використання біогазу в якості палива в когенераційній установці з газовим двигуном внутрішнього згоряння і автомобілях дозволить крім ефективно утилізації цієї небезпечної речовини, забезпечити споживача теплом та електричною енергією.*

Ключові слова: біопаливо, біогаз, очищення газу, ефективність, теплота згоряння.

*Актуальность проблемы эффективного использования традиционных источников энергии и поиска альтернативных ресурсов не вызывает сомнения. На сегодня в Украине почти не используется потенциал низкокалорийных газов в большом количестве производятся сельским хозяйством и промышленностью, в частности биогаза, синтез-газа, генераторного и пиролизного газов, шахтного газа и тому подобное. Количество существующих отечественных установок по утилизации этих газов очень мало, хотя в большинстве развитых стран насчитывается сотни и тысячи таких установок.*

*Одним из перспективных источников энергии является биогаз свалок, который сегодня выбрасывается в атмосферу и загрязняет ее, или сжигается в факельных установках. Однако использование биогаза в качестве топлива в когенерационной установке с газовым двигателем внутреннего сгорания и автомобилях позволит кроме эффективной утилизации этого опасного вещества, обеспечить потребителя теплом и электрической энергией.*

Ключевые слова: биотопливо, биогаз, очистка газа, эффективность, теплота сгорания.

*The urgency of the problem of the effective use of traditional energy sources and the search for alternative resources is definitely beyond doubt. Today, in Ukraine, the low-calorific gas production potential, which is largely produced by agriculture and industry, in particular biogas, synthesis gas, generating and pyrolysis gases, coal mine, etc., is almost not used. The number of existing domestic plants for the disposal of these gases is negligible, although in most developed countries there are hundreds and thousands of such plants.*

*One of the most promising sources of energy is the biogas of dumps, which is now emitted into the atmosphere and contaminates it, or burned at flaring facilities. However, the use of biogas as a fuel in a cogeneration unit with a gas engine of internal combustion and cars will, in addition to the efficient utilization of this hazardous substance, provide the consumer with heat and electric energy.*

Key words: biofuel, biogas, gas purification, efficiency, heat of combustion.

**Вступ.** Розвиток технічної цивілізації на Землі у ХХ ст. характеризується стрімким збільшенням енергоспоживання. За оцінками, в 1945-1998 рр. населення планети використало 2/3 всього палива, видобутого людством за час свого існування. Такі бурхливі темпи розвитку енергетики спричинили появу низки гострих проблем, пов'язаних з ресурсозабезпеченістю енергетичного господарства, подорожчанням викопних палив, вичерпанням найбільш доступних родовищ тощо. Одним з чинників забруднення навколишнього середовища парниковими (біогаз) та іншими шкідливими газами є сміттєзвалища. Три тисячі переповнених сміттєвих полігонів і десятки тисяч нелегальних смітників є небезпечним для природи і людей. Проте відходи сміттєзвалищ, зокрема біогаз, можна ефективно утилізувати з отриманням енергії, що дасть змогу частково вирішити про-

блему енергозабезпеченості міського господарства.

**Мета статті** – проаналізувати можливості і перспективи використання біогазу з відходів на сміттєзвалищах як автомобільного палива.

**Іноземний досвід.** Отримання біогазу на сьогоднішній день є найбільш екологічним, простим і економічно вигідним методом утилізації відходів. Біогаз – гарячий газ, що утворюється при анаеробному метановому зброджуванні біомаси та складається переважно з метану (55 ... 75%), двоокису вуглецю (25 ... 45%) і домішок сірководню, аміаку, оксидів азоту та інших (менше 1%). Для отримання біогазу на діючих або захоронених сміттєзвалищах бурять свердловини і встановлюють у них труби, які об'єднують у загальну систему трубопроводів.

Газ, що збирається в системі, проходить очищення від вологи і шкідливих домішок, стискається і спрямовується в котельню або когенераційну установку з двигуном внутрішнього згорання для виробітку теплової та/або електричної енергії.

Найбільше розповсюдження технології утилізації біогазу сміттєзвалищ отримали в Європейських країнах. Щорічно в ЄС обсяги виробництва біогазу збільшуються не менше, ніж на 20%. У 2007 р. виробництво досягло значної величини в 5900000 т.н.е. Наприклад, у Німеччині на 409 великих звалищах міського сміття є збірні пункти біогазу, що утворюються при розкладанні органічних компонентів сміття. В середньому на звалищах Німеччини з 1 т сміття виробляється близько 100 м<sup>3</sup> біогазу. При загальному обсязі виділення біогазу зі звалищ у розмірі 4 млрд м<sup>3</sup>/рік (що еквівалентно 2 млрд м<sup>3</sup> природного газу), його корисне споживання становить близько 400 млн м<sup>3</sup>/рік. Біогаз після його очищення використовуються для отримання електричної енергії та теплової енергії, що витрачається для промислових цілей і в системах опалення. Кількість біогазу, що генерується на звалищах, змінюється від 10 до 1200 м<sup>3</sup>/год. Потужність установок для виробництва електроенергії з біогазу становить від десятка кВт до декількох тис. кВт, що дає змогу забезпечувати енергією декілька будинків для невеликого селища. Зазвичай біогаз використовується як паливо в енергетичних установках з двигунами внутрішнього згорання (ДВЗ). Собівартість отриманої енергії на установках з ДВС приблизно в 2-2,5 рази нижча тарифів на електроенергію для населення.

У Великобританії добувається близько 200 млн м<sup>3</sup>/рік біогазу. Сумарна потужність БіоТЕС Великобританії становить близько 80 МВт.

У Франції видобувається близько 40 млн м<sup>3</sup>/рік біогазу. На одному із звалищ поблизу Парижа була побудована БіоТЕС, що використовує біогаз, емісія якого становить 1500 м<sup>3</sup>/добу.

На сьогоднішній день у США обсяг видобутку біогазу становить 500 млн м<sup>3</sup>/рік. Значна частина біогазу надходить на електростанції, що працюють на газовому паливі. Сумарна електрична потужність установок, що працюють на біогазі, становить близько 200 МВт. Крім того, все частіше здійснюється подача біогазу в комунальні мережі газопостачання.

Як бачимо, проблема утилізації біогазу сміттєзвалищ активно вирішується у розвинених країнах світу.

**Переваги.** Порівняно з природним газом біогаз із відходів на сміттєзвалищах має низку переваг, а саме:

1) біогаз – відновлюване джерело енергії, яке ніколи не вичерпається. Кількість сміття постійно зростає, а кількість природного газу і нафти при сучасних темпах видобування вистачить не більше, ніж на 50 років;

2) виробництво біогазу дає змогу запобігти викидам метану в атмосферу, відповідно змен-

шить “парниковий ефект” і зменшить забруднення навколишнього середовища;

3) біогаз із відходів сміттєзвалищ не потребує транспортування на значні відстані, оскільки сміттєзвалища існують у всіх великих населених пунктах.

### Проекти біогазових установок в Україні.

Україна володіє величезним потенціалом виробництва енергії з біогазу сміттєзвалищ. Зокрема:

– міст з населенням більше 100 тис. чол. – 50;

– у містах щорічно утворюються 40 млн. м<sup>3</sup> твердих побутових відходів (ТПВ) (10 млн. тонн);

– понад 90% ТПВ потрапляє на полігони та сміттєзвалища. Загальна кількість санкціонованих полігонів і звалищ – близько 700;

– приблизно 140 полігонів ТПВ придатні для збирання і утилізації біогазу. 90 найбільших полігонів містять 30% від загальної кількості ТПВ;

– потенціал біогазу для енергетичного використання, досягає 400 млн м<sup>3</sup>/рік (300000 т у.п.).

В Україні існують поодинокі приклади застосування біогазових технологій. Кілька біогазових проектів впроваджені на полігонах твердих побутових відходів у містах Ялта, Алушта, Маріуполь, Львів, Кременчук, Луганськ, Київ (табл. 1), а також на Бортницькій станції очищення стічних вод. (м. Київ).

Проект, реалізований компанією ЛНК на Київському полігоні №5, є найбільш успішним українським біогазовим проектом. На полігоні працює лінійка з п'яти біогазових двигунів компанії TEDOM з встановленою потужністю 177 кВт кожний. У 2012 р. на полігоні ТПВ вироблено, подано в мережу і продано за економічно обґрунтованим тарифом, визначеним НКРЕ, 3,26 ГВт електроенергії. Компанія нащодує потужність цього проекту. В 2011 році введено в експлуатацію газопоршневу установку виробництва компанії GE Jenbacher потужністю 1,063 ГВт на полігоні ТПВ м. Бориспіль.

У системах утилізації біогазу використовують газопоршневі двигуни GE Jenbacher, GM.

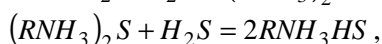
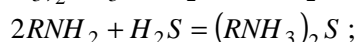
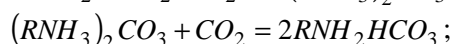
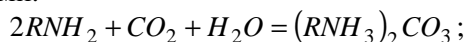
Одним із яскравих прикладів біогазової установки є “Полігон ТПВ” в с. Рибне, що поблизу міста Івано-Франківськ. Для виробництва газу, отриманого зі сміттєзвалища, ТОВ “Кліар-енерджи” було пробурено 28 свердловин та встановлено дві когенераційні установки потужністю 330 кВт/год кожна. Роботи з дегазації полігону ТПВ будуть продовжуватися у ході його подальшої експлуатації, яку здійснює комунальне підприємство Івано-Франківської міської ради “Полігон ТПВ”.

**Очищення.** Оскільки у складі біогазу із відходів на сміттєзвалищах великий вміст диоксида карбону, а також сірководню і вологи, перед використанням як моторного палива його потрібно очистити. Одним з найефективніших способів очищення газу від кислих сполук є абсорбційний з використанням 15-20%-го

Таблиця 1 – Діючі системи збору та утилізації біогазу на полігонах ТПВ

Полігон	Кількість накопичених ТПВ, млн. т	Площа полігону, га	Період експлуатації полігону	Початок збору біогазу	Технологія утилізації
Алушта	1,0	3,2	1960	2008	Факельна установка (ФУ) HOFGAS-Ready 500
Ялта	1,3	5,0	1973-2010	2008	ФУ HOFGAS-Ready 800
Львів	4,0	26	1957	2009	ФУ HOGAS-Ready 200
Маріуполь	2,5	14	1965		ФУ HOFGAS-Ready 800 ДВС 170кВт
Кременчук	2,8	15	1965		ФУ HAASE
Луганськ	2,0	11,6	1979-2010	2011	ФУ Biogas Ltd, UK, 600 m <sup>3</sup> /h
Запоріжжя	3,2 (з 1974)	11	1952	2011	ФУ HAASE
Вінниця	3,0	10	1980	2012	ФУ HAASE
Київ	10	36	1986	2012	ДВЗ TEDOM 5x177 кВт
Івано-Франківськ	8,5 (з 1992)	20,8	1992	2017	GE Jenbacher GM. 2x330 кВт

розчину моноетаноламіну. Взаємодія CO<sub>2</sub> і H<sub>2</sub>S з моноетаноламіном описується сумарними реакціями:



де R – група OHCH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>.

За низької температури реакції проходять зліва направо, за високої – навпаки: в першому випадку CO<sub>2</sub> і H<sub>2</sub>S<sub>3</sub> “зв’язуються” з абсорбентом, у другому – відбувається регенерація абсорбенту і виділення поглинутих кислих газів (CO<sub>2</sub> і H<sub>2</sub>S<sub>3</sub>).

Для осушення біогазу доцільно використовувати абсорбційний спосіб за допомогою синтетичних кристалічних алюмосилікатів (цеолітів типу NaX або NaA).

Отож, очищення біогазу до якості природного газу виправдовує себе тільки при великій витраті палива. Вважається, що система очищення виправдовує себе для установок, які виробляють обсяг газу від 250 м<sup>3</sup>/год.

**Використання біогазу із відходів на сміттєзвалищах як автомобільного палива.** Зважаючи на досвід використання біогазу як палива в газопоршневих утилізаційних установках і на наявність усіх необхідних характеристик, біогаз є хорошою альтернативою традиційним автомобільним паливам.

Не менш важливим фактором у використанні біогазу як автомобільного палива є те, що він в очищеному стані за своїми характеристи-

ками подібний до природного газу, що полегшує його транспортування і зберігання як в зрідженому, так і в стисненому стані.

Усереднений компонентний склад біогазу із відходів на сміттєзвалищах (табл. 2).

Таблиця 2 – Компонентний склад біогазу

№ з/п	Компонент	Вміст, %
1	Метан	50-75
2	Вуглекислий газ	25-50
3	Водень	0-1,0
4	Сірководень	0-3,0
5	Азот	0-10,0
6	Кисень	0-2,0

З таблиці 2 ми бачимо наявність в біогазі сірководню (0-3,0%), що є досить негативним фактором, оскільки сірководень вступає в реакцію з більшістю металів і може викликати корозію в деталях ДВЗ. Тому шляхом очищення сірководень потрібно видалити з біогазу.

Недоліком біогазу порівняно з традиційними автомобільними паливами є мала концентрація енергії від його згоряння, що призводить до зменшення коефіцієнту корисної дії двигуна, ефективної потужності і збільшення витрати палива. Як приклад, на рисунку 1 вказані техніко-експлуатаційні показники двигуна Opel Vectra при роботі на біогазі і природному газі.

Даний недолік не є надто суттєвим, так як біогаз можна подавати в ДВЗ шляхом змішування його з природним газом, і втрати будуть не такими великими.

Наприклад, для горючих сумішей при α = 1 нижча теплота згоряння 1 м<sup>3</sup> складає:

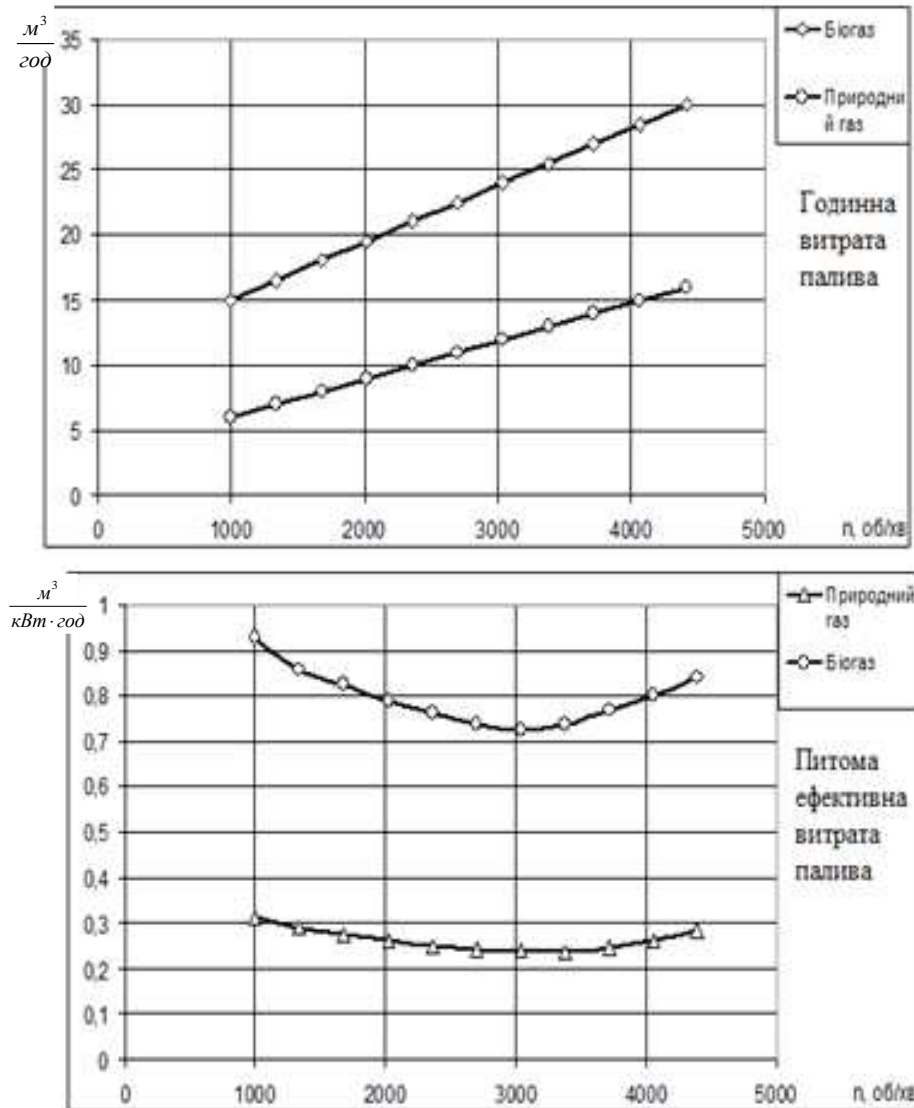


Рисунок 1 – Техніко-експлуатаційні показники двигуна Opel Vectra при роботі на біогазі і природному газі

бензоповітряна –  $Q_n = 3739$  кДж/м<sup>3</sup>; газоповітряна  $Q_n = 3404$  кДж/м<sup>3</sup>, а біогазоповітряна (при  $CH_4 = 62\%$ ) –  $Q_n = 2168$  кДж/м<sup>3</sup>.

Знаючи відсотковий вміст складових, можна за формулою Менделєєва розрахувати теплоту згоряння біогазу:

$$Q_n = 128CO + 108H_2 + 234H_2S + 339CH_4 + 589C_nH_m,$$

де  $Q_n$  – нижча теплота згоряння біогазу, кДж/м<sup>3</sup>;

$CO, H_2, CH_4, C_nH_m$  – вміст у газоподібному паливі окремих компонентів, відсотки об'ємні за нормальних умов.

За розрахунком зниження теплоти в 1 м<sup>3</sup> горючої суміші двигуна при використанні природного газу становить 8,7 %, при використанні біогазу – 42,1 %, а при використанні у суміші становитиме 15,25 %.

Головною перевагою використання біогазу із відходів на сміттєзвалищах як автомобільного палива є те, що біогаз – це відновлюване джерело енергії, на відміну від нафти і природ-

ного газу, кількість запасів яких різко зменшується.

## Висновки

Використання біогазу з сміттєзвалищ може частково вирішити проблему дефіциту автомобільного палива нафтового походження в Україні. Для цього є необхідні резерви. Також знизиться гострота екологічної проблеми, бо зменшаться викиди біогазу в атмосферу.

Оскільки нижча теплота згоряння біогазу з сміттєзвалищ на (40 ÷ 42) % менша ніж у традиційного автомобільного палива з нафти, питома ефективна витрата і годинна витрата є вищими на 68% та 52 % відповідно. Покращити ці показники можна за рахунок додавання до біогазу з сміттєзвалищ природного газу  $CH_4$ .

Комерційну привабливість використання біогазу зі сміттєзвалищ можна визначити тільки проаналізувавши економічну ефективність його використання.

Дані дослідження будуть служити основою для подальшого аналізу техніко-експлуатаційних і економічних показників роботи автомобільних двигунів внутрішнього згорання на біогазі зі сміттєзвалищ.

### **Література**

1 Биогаз (Електронний ресурс). – Режим доступу: <http://uk.wikipedia.org/wiki/Биогаз>.

2 Біопаливо – стан та перспективи використання / Ю. М. Носенко, Н. П. Чуйко // Аграрні вісті. – 2008. – № 6. – С. 10-13.

3 Дубровін В.О. Біопалива (технології, машини і обладнання) / [В.О. Дубровін, М.О. Корчемний, І.П. Масло та ін.] – К.: ЦТІ «Енергетика і електрифікація», 2004. – 256 с.

4 Автомобільні двигуни / [Абрамчук Ф.І., Гутаревич Ю.Ф., Долганов К.Є., Тимченко І.І.] Підруч. для студентів спец. “Автомобілі та автомобільне господарство” вищ. навч. закладів. – К.: Арістей, 2004. – 438 с.: іл. – Бібліогр.: с.432.

5 Биогаз. Теория и практика / В. Баадер, Е. Доне, Б. Бренндерфер. – М.: Высшая школа, 1982. – 211 с.

6 Калетник Г.М. Розвиток ринку біогазу в Україні / Г.М.Калетник – К: Аграрна наука, 2008 – 164 с.

7 Гаєва Л.І. Використання експлуатаційних матеріалів і економія паливно-енергетичних ресурсів. Навчальний посібник / [Л.І. Гаєва, Ф.В. Козак, В.М. Мельник] – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2014. – 272 с.

*Стаття надійшла до редакційної колегії  
15.05.18*

*Рекомендована до друку  
професором **Векериком В.І.**  
(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)  
канд. техн. наук **Кашубою М.В.**  
(Надвірнянський коледж Національного  
транспортного університету, м. Надвірна)*