

УТИЛІЗАЦІЯ БІОГАЗУ З ПОЛІГОНУ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ ЯК ЕЛЕМЕНТ ЕКОЛОГО-ЕНЕРГЕТИЧНОЇ БЕЗПЕКИ

Анна Тітова

аспірантка кафедри екології та біотехнологій

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, вул. Університетська, 20,
Кременчук, Україна, 39600, titova1@ukr.net

ORCID: 0000-0003-0749-4747

У статті подано результати дослідження потужності спроможності утворення біогазу з полігону побутових відходів. Антропогенний вплив людської діяльності призводить до збільшення концентрації парникових газів в атмосферному повітрі. Здатність атмосфери зберігати тепло, сприяє збільшенню середньої температури Землі і як наслідок призводить до зміни клімату, підвищення рівня морів, виникнення екстремальних погодних умов та інших проблем, що впливають на умови життєдіяльності людини.

Розвиток сфери виробництва біогазу є перспективним напрямом забезпечення потреб населених пунктів у альтернативних джерелах енергії. Використання біогазу дає можливість зменшити антропогенне навантаження на навколишнє середовище за рахунок переробки побутового сміття, сільськогосподарської сировини, відходів агропромислового комплексу. З метою зниження обсягів надходження парникових газів, досліджено один із об'єктів-утворювачів парникових газів – полігон побутових відходів. Даний полігон обладнано системою збирання та утилізації біогазу. На протязі кількох років установка функціонує та дає позитивний результат. З метою прогнозування подальшої роботи установки, проведено розрахунок потужності об'єкту у спроможності утворення біогазу. Проаналізовано фактичні об'єми можливого вилучення біогазу. Доведено, що прогнозування об'ємів біогазу залежить від багатьох факторів, деякі з яких складно передбачити заздалегідь. Розглянуто можливі шляхи удосконалення технологічного процесу обслуговування полігону з метою ефективного збирання та утилізації біогазу: дотримання технології захоронення відходів, збалансоване співвідношення промислових та побутових відходів, використання ефективних методів управління відходами (належне сортування і вилучення ресурсоцінних компонентів). Вилучення та утилізація біогазу є перспективним напрямом у сфері поводження з відходами, оскільки дозволяє частково вирішити проблему забезпечення енергетичних потреб держави. Біогаз можна перетворити на електроенергію за допомогою когенераційної установки або електростанції. Основний принцип дії полягає у спалюванні біогазу в спеціальному двигуні або турбіні, що генерує електроенергію.

Ключові слова: утилізація біогазу, побутові відходи, еколого-енергетична безпека, управління відходами, компостування.

Актуальність роботи. Проблема вилучення та утилізації біогазу з полігонів побутових відходів є актуальною як на місцевому, так і на регіональному рівнях [1]. На території України розміщено 6 тис. полігонів та сміттєзвалищ, переважна більшість з яких не оснащені системами захисту навколишнього середовища. Такі об'єкти є джерелами виділення біогазової суміші, основним компонентом якої є метан, що має отруйні та вибухонебезпечні властивості, призводить до пошкодження озонного шару у верхній частині атмосфери.

Багаторічний досвід вивчення умов експлуатації полігонів твердих побутових відходів [2, 3] сприяв розробленню заходів, направлених на запобігання несприятливому їх впливу на навколишнє середовище. Суттєвою проблемою експлуатації полігонів є утворення біогазу. Емісії його збільшують концентрації парникових газів в атмосферному повітрі, що призводить до підсилення парникового ефекту. Черезмірне виділення біогазу

є однією з причин виникнення пожеж і вибухів на звалищах. Такі пожежі важко піддаються гасінню, адже утворюються не на поверхні, а в середині шару сміття. Горіння відбувається без доступу кисню. При пожежах здійснюються додаткові викиди в атмосферне повітря парникових газів. Пожежі можуть бути небезпечними для навколишнього середовища і здоров'я людей [4, 5].

Основні складники біогазу (метан та карбон (IV) оксид) використовуються як джерело енергії, завдяки чому зменшується використання традиційних джерел енергії, таких як нафта і природний газ. З метою вилучення біогазу полігони облаштовують системами збирання та його утилізації.

Установки з утилізації біогазу включають в себе:

– систему вилучення біогазу та перенаправлення його по мережі перфорованих труб на обробку установку;

- установки для очищення біогазу від домішок;
- біогазові генератори для виробництва електроенергії та тепла;

- установки з низькою температурою згоряння в камерах з низькою температурою, для використання енергії в різних цілях;

- установки з високою температурою згоряння для виробництва електроенергії та тепла.

Місця захоронення побутових відходів мають значний потенціал для виробництва біогазу. Щороку на полігони надходить вся необхідна сировина для вироблення біогазової суміші, до неї відносяться: залишки харчових продуктів, рослинні залишки, продукція із закладів харчової торгівлі, папір, шлами та ін. Хоча більшість відходів може бути вилучена ще на етапі їх утворення та збирання, через відсутність інфраструктури із сортування та утилізації такі відходи потрапляють на сміттєзвалища у великих об'ємах.

Варто звернути увагу і на строки експлуатації місць захоронення відходів. Часто полігони та сміттєзвалища експлуатуються понад 30 років, такий термін є придатним для утворення біогазу у самій активній фазі. Тобто, існує значний потенціал для вилучення біогазу.

На шляху до євроінтеграції Україна взяла на себе певні зобов'язання у сфері поводження з відходами, у тому числі закриття та рекультивація необладнаних, перевантажених полігонів. До одного із ключових етапів проведення робіт з приведення полігонів до європейських стандартів, є вилучення та утилізація біогазу під час всього терміну функціонування місця видалення відходів та після його рекультивації.

Національна стратегія управління відходами передбачає приведення полігонів твердих побутових відходів до нормативів європейського законодавства [6]. Тому, важливим є проведення моніторингу потенційних місць видалення відходів для вилучення біогазу, вибору методу його утилізації, проведення морфологічного дослідження захоронення відходів, розрахунок об'ємного складу відходів та прогнозування кількості можливого отримання біогазу.

Одним із популярних методів утилізації біогазу в Європі є використання технології «зеленого газу» або біометану. Цей процес включає очищення біогазу і перетворення його на біометан, що застосовують в автомобільному транспорті та інших галузях промисловості. Для виробництва біометану використовують технології анаеробного розкладу, в тому числі процеси, що відбуваються в біогазових установках та системах біореакторів [7].

Для оцінки обсягів утворення біогазу часто застосовується розрахунковий спосіб з використанням середніх значень викидів біогазу із схожих типів полігонів та кількості відходів, які розміщуються на полігоні. Більш точний розрахунок об'єму біогазу на конкретному полігоні повинен включати низку чинників, таких як кількість та склад відходів, що розміщено на полігоні, глибина/висота полігону, його площа, погодні умови та ін.

Враховуючи те, що на досліджуваному полігоні побутових відходів введено в експлуатацію об'єкт з утилізації біогазу, проведення розрахунків утворення біогазу та прогнозування можливого потенціалу утворення біогазу залишається актуальною задачею для подальшої експлуатації місця захоронення відходів.

В найближчий час заплановано проведення реконструкції міського полігону ТПВ та відкриття нових карт захоронення відходів. Згідно державних будівельних норм, сучасний полігон на етапі будівництва оснащується системою збирання та утилізації біогазу.

Метою нашої роботи було дослідження процесу утворення біогазу на полігоні твердих побутових відходів.

Матеріали і результати досліджень. Розглянемо конкретний полігон твердих побутових відходів. За весь період експлуатації досліджуваного полігону на нього завозились як промислові так і побутові відходи, у т. ч. і рідкі відходи. Відходи підлягали захороненню на поверхні площею близько 18 га, а 10 га ще знаходяться у резерві для перспективного будівництва сортувального комплексу та відкриття нових карт захоронення відходів. Висота складування відходів перевищує 35 м. Ізоляція ґрунту від попадання стоку зливових та талих вод і фільтрату відсутня. Захоронення відходів здійснюється пошарово. Кожні 2 м ущільненого побутового сміття пересяпаються до 0,5 м ізоляційним шаром. В якості матеріалу для ізоляції використовуються промислові відходи 4 класу небезпеки. Орієнтована маса захоронених відходів становить 9 млн. т. Відповідно до державних будівельних норм, такий полігон є високонантаженим та підлягає рекультивації [8].

Джерелом екологічної небезпеки при експлуатації полігону є виділення з його тіла біогазу, який утворюється при анаеробному розкладанні органічної складової твердих побутових відходів [9]. Процес розпаду ТПВ в тілі полігону включає п'ять фаз. Перша та п'ята фази проходять в аеробних умовах, інші – в анаеробних. Перша фаза –

аеробне розкладання. Органічні речовини з ТПВ підлягають перетворенню аеробними мікроорганізмами. Цей процес проходить з виділенням температури, яка може досягати 80-90°C. Фаза 2 – кисле бродіння. На цій стадії проводиться гідроліз та ферментація. Азот витісняється карбон (IV) оксидом і формується фільтрат, температура полігону падає до 30-50 °С. Фаза 3 – змішане бродіння. За участю кислотоутворюючих бактерій відбувається подальше розкладання з утворенням органічних кислот і їх солей, а також спиртів, CO₂. Ці кислоти окиснюються переважно до ацетат-іону і карбон (IV) оксиду. Утворюються також водень, аміак, сірководень. 4 фаза – анаеробний розклад з постійним виділенням метану. Перехід із 3 до 4 стадії може відбуватись на протязі багатьох років. Метаноутворюючі бактерії при відсутності кисню перетворюють розчинені органічні компоненти у біогаз (CH₄+CO₂). V фаза – затухання анаеробних процесів. Всі органічні компоненти будуть розкладені, утворення біогазу зменшиться.

Всі процеси у тілі полігону здійснює значна кількість мікроорганізмів, серед яких переважають бактерії. Кислотоутворюючі бактерії розщеплюють складні органічні сполуки в більш прості, які являються джерелом живлення для другої групи бактерій – метаноутворюючих, що перетворюють органічні кислоти в метан і карбон (IV) оксид. Внаслідок постійно протікаючих біохімічних процесів розщеплення та розкладу виникає високий тиск газу. Це призводить до того, що полігонний газ безконтрольно виділяється з тіла полігону. Встановлено приблизний склад біогазу: метан – 40-60 %, карбон (IV) оксид – 30-45 %, азот, сірководень, кисень, водень та ін. гази – 5-10% [10]. Високий вміст метану збільшує теплоємність біогазу та дозволяє використовувати його в технологічних процесах в якості паливного газу. Проте, надмірне його виділення може привести до неконтрольованих пожеж на полігонах ТПВ.

З метою зниження негативного впливу полігонного біогазу на довкілля та отримання енергії проводиться його утилізація. Одним із актуальних способів є технологія активної дегазації. Цей спосіб рекомендований нормами ДБН В.2.4-2-2005 «Полігони твердих побутових відходів. Основні положення проектування» [6]. Активна система дегазації ґрунтується на зборі біогазу за допомогою газових свердловин, в яких розташовуються перфоровані труби, що підключаються до газопереміщуючого обладнання – компресора

або вентилятора і системи газопроводів. Тобто, активна дегація – це примусове видалення газу.

Для ефективної роботи системи необхідним є наявний обсяг накопичених відходів не менше 1 млн. т, а середня глибина полігону – більше 10 м. Вважається, що при виконанні цих умов система дегазації працює ефективно, оскільки на полігоні виділяється необхідний об'єм біогазу за рахунок зрілої стадії метаногенезу. Ефективність метаногенезу, як кінцевої фази анаеробної біодеструкції відходів, залежить від морфологічного складу відходів і наявності компонентів, що сприяють біодеструкції. Рослинні залишки, папір, текстиль, деревина та інші органічні фракції, що містяться у складі ТПВ, збільшують виділення біогазу та концентрацію в ньому метану. Потенціал полігонного газу складає 150 -250 куб. м на 1 т побутових відходів.

Основними способами отримання енергії з біомаси є спалювання, анаеробне бродіння, гідроліз, ферментація, виробництво водню, суха перегонка та газифікація.

З метою вилучення вуглеводневої сировини на досліджуваному полігоні буровим способом встановлено систему вертикальних свердловин, з'єднаних між собою дегазаційними трубопроводами. Трубопровід має вигляд перфорованих труб. Труби розміщуються на різних глибинах в тілі полігону і обмежені шаром гравію (рис. 1). Відведення конденсату здійснюється у спеціальну шахту.

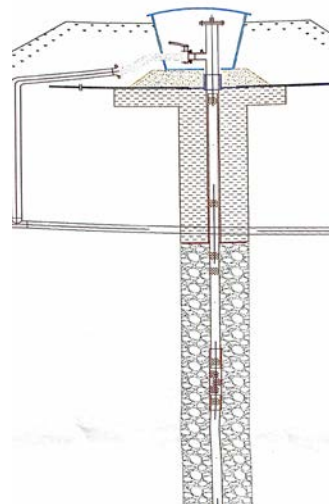


Рис. 1. Схематичне зображення газозбірного колодязю

Нами експериментально зафіксована подача біогазу у тілі полігону обсягом 150 куб. м/год, вміст метану – близько 50 %. Найбільшу

кількість газу отримано з ділянки свіжого сміття, з ділянки захоронення старого сміття отримано 1/3 загального обсягу. Це свідчить про ефективність дегазації.

По шлейфовому трубопроводу (рис. 2) газ прямує до збірної камери, звідки направляється до колекторного трубопроводу, за допомогою якого зібраний біогаз передається на технологічну ділянку до газокompресорної установки.

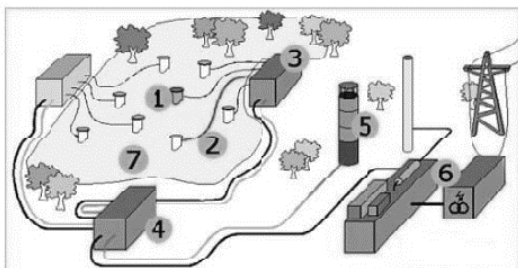


Рис. 2. Схематичне зображення системи дегазації: 1 – свердловини, 2 – газозбірні трубопроводи, 3 – пункти збору ЗГ, 4 – дегазаційна установка, 5 – факельна установка, 6 – модульна трансформаторна станція та теплоелектростанція, 7 – шахта для відводу конденсату.

Певний час у тестовому режимі біогаз спалювався на факельній установці (рис. 3).



Рис. 3. Мобільна компресорна та факельна установка

Спалювання біогазу на факельній установці призводить до зменшення емісій метану та інших парникових газів в районі полігону ТПВ, але в той же час при згоранні біогазу у повітря здійснюється викид таких забруднюючих речовини як: нітроген оксиди, карбон оксиди, сульфур оксиди сажа та ін.

Тому, факельну установку було замінено на енергогенеруючу установку (ЕГУ), яка складається з газового компресору, чотирьохтактного

газового двигуна внутрішнього згорання з турбонадувом та охолоджувачем суміші, з високовольтною системою запалювання та електронною системою контролю за підготовкою газоповітряної суміші. Принцип роботи ЕГУ ґрунтується на спалюванні біогазу в спеціальному двигуні внутрішнього згорання, при цьому відбувається виробництво електроенергії та тепла. Останнє може бути використане для опалення приміщень або інших цілей. Важливим етапом є очищення біогазу, адже він може містити такі домішки як водень, аміак, сульфід та ін., які можуть пошкодити установку. Тільки після очищення біогаз подається в генератор. Керування, контроль та захист ЕГУ повністю здійснюється за допомогою системи автоматики.

Щороку з тіла досліджуваного полігону вилучається близько 3 млн. куб. м біогазу. У найближчий час планується завершення експлуатації діючої (перевантаженої) частини полігону. Тому, видобування біогазу поступово перейде у V фазу описаного вище процесу розпаду ТПВ в тілі полігону, відповідно, об'єми видобутої сировини скоротяться.

Зробимо припущення, що експлуатація полігону завершиться у 2023 році. За 2022 рік на полігон буде завезено 90 тис. побутового та 20 тис. промислового сміття. Загальний обсяг захоронених на полігоні ТПВ до його рекультивациі (припускаємо що це 2023 рік) становитиме 9461 тис. т. Розглянемо співвідношення мас захоронених відходів різних типів: побутові – 3338 тис. т, промислові – 6123 тис. т. Отже, на момент рекультивациі полігону маємо 3338 тис. т побутового сміття.

Розглянемо морфологічний склад побутових відходів, що завозяться на полігон ТПВ (табл. 1).

Таблиця 1
Морфологічний склад відходів

№ п/п	Вид відходів	Масова частка
1	Відходи які біологічно розкладаються	44,26 %
2	Папір/картон/тетрапак	14 %
3	Полімерні відходи	14,76 %
4	Метали	3,16 %
5	Скло	8,37%
6	Текстиль	6,76%
7	Шкіра	1,69%
8	Деревина	1,36%
9	Засоби гігієни	4,80%
10	Інертні відходи	0,84%
	Всього:	100%

Кількість відходів та біогазу за роками

Рік	Маса побутових відходів, тис. т	Маса промислових відходів, тис. т	Об'єм біогазу, млн.куб. м
2020	9, 948	6,577	3, 277 5
2021	70.525	4,424	2,639 255

Визначення енергетичного потенціалу полігону ТПВ проводимо за формулою [6]:

$$V_{p,б} = P_{ТПВ} * K_{л.о} * (1 - Z) K_p, \quad (1)$$

де: $V_{p,б}$ – розрахункова кількість біогазу, м³;
 $P_{ТПВ}$ – загальна маса ТПВ, які складуються на полігоні, кг;

$K_{л.о}$ – вміст органіки, що легко розкладається, в 1 т відходів ($K_{л.о} = 0,5 - 0,7$);

Z – зольність органічної речовини ($Z = 0,2 - 0,3$);

K_p – максимально можливий ступінь анаеробного розкладання органічної речовини за розрахунковий період ($K_p = 0,4 - 0,5$)

$$\text{Маємо } V_{p,б} = 584\,150\,000 \text{ м}^3 = 584,15 \text{ млн м}^3$$

На основі отриманих результатів, робимо висновки що кількість біогазу, який виділить полігон з початку генерації біогазу до моменту затухання процесів його утворення, складає 584,15 млн м³, потенціал утворення біогазу – 160 м³/т.

Констатуємо, що отримані дані досить усереднені, адже формула (1) не враховує низку важливих показників, таких як: характер експлуатації полігону, дотримання технології шарування відходів, наявність та кількість пожеж на полігоні, що призводять до згорання біогазу. Також, важливим показником є співвідношення захоронення на полігоні ТПВ побутових та промислових відходів.

Загалом, процес утворення біогазу на полігоні побутових відходів є складним процесом та залежить від багатьох факторів:

– температура: чим вище температура, тим більше утворюється біогазу;

– вологість: в умовах підвищеної вологості біогаз утворюється швидше;

– склад відходів: деякі види відходів уповільнюють або зовсім зупиняють процес утворення біогазу;

– розміри полігону: більші за розмірами полігони утворюють більшу кількість біогазу.

Тому, точний прогноз тривалості стадії його утворення спрогнозувати не можливо. Однак, в середньому, можна очікувати що активний процес триває від кількох місяців до кількох років.

На прикладі досліджуваного полігону спостерігається перевага обсягів захоронених промислових відходів над побутовим сміттям. Це

свідчить про те, що утворення біогазу може бути досить ускладненим.

Кількість біогазу, який може утворюватися з 1 тони побутового сміття, залежить від обсягів органічних відходів та ефективності процесу уловлювання і переробки біогазу.

У джерелах інформації наводяться суттєво різні значення питомої кількості біогазу, що може утворитися з одиниці маси побутових відходів. Залежно від використовуваної технології для переробки органічних відходів, кількість біогазу, що може бути вироблено з 1 тони побутового сміття, коливається від 50 до 150 куб. м.

Визначимо енергетичний потенціал досліджуваного полігону виходячи із фактичних достовірних даних по кількості завезених на полігон побутових відходів та об'єму зібраного біогазу (табл. 2).

При середній кількості захоронених на полігоні побутових відходів 84 тис. т/рік вилучається близько 3 млн. куб. м біогазу, що становить 36 куб. м з 1 тони побутових відходів. Відмітимо, що отримані фактичні значення значно менші за наведені вище загальноприйняті дані. На нашу думку це може бути викликано тим, що технологія складування і шарування відходів дотримувалась не з самого початку функціонування полігону, наявність інертних відходів у певний час значно переважала над кількістю органічних відходів. Але, не зважаючи на це, наявний позитивний результат як для енергетичної сфери, так і для довкілля.

Висновки: проаналізувавши результати досліджень утворення біогазу з досліджуваного полігону та отримавши усереднені дані відбору вуглеводневої сировини, вважаємо доцільним удосконалювати технології захоронення відходів. З метою збільшення обсягів утворення біогазу, необхідним є запровадження попереднього механічного сортування сміття. При цьому буде зменшено ймовірність потрапляння на полігон полімерних та інших відходів, які доцільно повторно застосувати і які жодним чином не впливають на інтенсивність утворення біогазу. Також, важливим є дотримання технології шарування відходів.

Побутове сміття ущільненим шаром 2 м пересипається промисловими відходами чи глиною шаром 0,5 м. В кінці кожної робочої зміни, відходи повинні бути ущільненими та розрівняними. Завдяки регулярній ізоляції побутового сміття знизиться ризик самозаймання відходів, що справить позитивний вплив на утворення біогазу.

Значний потенціал утворення біогазу є у перспективі і після рекультивації діючого полігону та відкриття нових карт складування відходів. При зменшенні кількості непридатних до газоутворення промислових відходів вважаємо реальним досягнення вилучення біогазу з 1 тони побутового сміття на рівні 50 куб. м.

Резюмуючи, відмічаємо, що утилізація біогазу з полігонів та сміттєзвалищ побутових відходів є важливим елементом зменшення негативного впливу на довкілля та викидів парникових газів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Шмандій В.М., Харламова О.В., Солошич І.О., Ригас Т.Є. Управління екологічними проектами в умовах дії антропогенних чинників формування небезпеки. *Науково-технічний журнал «Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування»*. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2021. Вип. 2 (24). С. 42-44.

2. Мальований М. С., Голодовська О. Я., Пастернак М. І. Тверді побутові відходи м. Львова та їх вплив на довкілля. *Вісник Національного університету «Львівська*

політехніка». 2011. № 700 : Хімія, технологія речовин та їх застосування. С. 250–252.

3. Тітова А. О., Харламова О. В., Безденежних Л. А., Бігдан С. А. Оптимізація системи управління твердими побутовими відходами у Кременчуцькій територіальній громаді. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. 2021. Вип. 3/2021 (128). С. 51–56.

4. Екологічна безпека. Підручник /В.М. Шмандій, М.О. Клименко, Ю.С. Голік, А.М. Прищеп, В.С. Бахарєв О.В. Харламова. – Херсон: Олді-плюс, 2017. 336 с.

5. Попович В.В. Пожежна небезпека стихійних сміттєзвалищ та полігонів ТПВ. *Збірник наукових праць ЛДУ БЖД УДК 628.729:19*, 2012. 140–147с.

6. Закон України про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19#top>.

7. M.Malovanyy; V.Nikiforov; O.Kharlamova; O.Synelnikov. Production of renewable energy resources via complex treatment of cyanobacteria biomass.– *Journal «Chemistry & Chemical technology»*. Vol. 10, No. 2, 2016. С. 251-254.

8. Державні будівельні норми України. Проектування. Полігони твердих побутових відходів. Основні положення проектування. ДБН В.2.4-2-2005.

9. Матвеев Ю.Б. Енергетичне використання побутових відходів. *Тверді побутові відходи*. 2011. №4. С. 10–15.

10. Програма фінансування альтернативної енергетики в Україні (ПРОГРАМА USELF). Технічний звіт з оцінки потенціалу відновлюваної енергетики в Україні: Проектні сценарії для Програми фінансування відновлюваної енергетики в Україні: Біогаз, 2011.

UTILIZATION OF BIOGAS FROM THE HOUSEHOLD WASTE LANDFILL AS AN ELEMENT OF ENVIRONMENTAL AND ENERGY SECURITY

Anna Titova

Graduate student of the Department of Ecology and Biotechnology

Kremenchug National University named after Mykhailo Ostrogradsky, 20 University str., Kremenchuk, Ukraine, 39600, titoval@ukr.net

ORCID: 0000-0003-0749-4747

The development of the field of biogas production is a promising direction for meeting the needs of settlements in alternative energy sources. Using a mathematical formula, the facility's capacity for biogas production was calculated. An analysis of actual data on the volume of possible biogas extraction was carried out. It is concluded that the final results of the projected volume of biogas depend on many factors, some of which cannot be predicted in advance. Considered are possible ways of improving the technological process of landfill maintenance in order to efficiently collect and utilize biogas. The main ways include: compliance with waste disposal technology, a balanced ratio of industrial and household waste, the use of effective waste management methods – their proper sorting and extraction of resource-valuable components. Extraction and utilization of biogas is a promising direction in the field of waste management, as it allows to partially solve the problem of providing energy needs of the state. Biogas can be converted into electricity using a cogeneration plant or power plant. The main principle of operation consists in burning biogas in a special engine or turbine that generates electricity. After analyzing the results of studies on the formation of biogas from the investigated landfill and receiving the averaged data of the selection of hydrocarbon raw materials, we consider it expedient to improve waste disposal technologies. In order to increase the volume of biogas formation, it is necessary to introduce preliminary mechanical sorting of garbage. At the same time, the probability of polymer and other waste entering the landfill will be reduced, which should be reused and which in no way affect the intensity of biogas formation. Also, it is important to follow the waste layering technology. Also, there is a significant potential for biogas generation in the operating

landfill of household waste. When reducing the amount of waste unsuitable for gas production, the amount of industrial waste, we consider it realistic to achieve results in extracting biogas from 1 ton of household waste within the range of 50 cubic meters. m.

Key words: biogas utilization, household waste, ecological and energy safety, waste management, composting.

REFERENCES

1. Shmandiy V.M., Kharlamova O.V., Solosych I.O., Rigas T.E. (2021). Management of ecological projects under the influence of anthropogenic factors of hazard formation. *Scientific and technical journal "Ecological safety and balanced resource use"*, iss. 2 (24), pp. 42-46 [in Ukrainian].
2. Malyovany M. S., Holodovska O. Ya., Pasternak M. I. (2011). Solid household waste of the Lviv and its impact on the environment. *Bulletin of the Lviv Polytechnic National University. Chemistry, technology of substances and their application*, iss. 700, P. 250–252 [in Ukrainian].
3. Titova A. O., Kharlamova O. V., Bezdenezhnykh L. A., Bigdan S. A. (2021). Optimization of the solid household waste management system in the Kremenchug territorial community. *Bulletin of Mykhailo Ostrogradsky National University of Kremenchug*, iss. 3/2021, pp. 51–56 [in Ukrainian].
4. Ecological safety./V.M. Shmandiy, M.O. Klymenko, Yu.S. Golik, A.M. Prishchepa, V.S. Bakharev O.V. Kharlamov, pp. 336 [in Ukrainian].
5. Popovych V.V. (2012). Fire hazard of spontaneous landfills and solid waste landfills. *Collection of scientific papers of LSU BZD UDC*, iss. 628.729:19, pp. 140–147 p. [in Ukrainian].
6. Law of Ukraine on Basic Principles (Strategy of the State Environmental Policy of Ukraine for the period up to 2030) (Electronic resource) – Access mode: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19#top>.
7. M. Malovanyy; V. Nikiforov; O. Kharlamova; O. Synelnikov. (2016). Production of renewable energy resources via complex treatment of cyanobacteria biomass. *Journal «Chemistry & Chemical technology»*, iss. 2, pp. 251-254. [in Ukrainian].
8. State building regulations of Ukraine. Designing. Solid household waste landfills. Basic provisions of design. DBN B.2.4-2-2005.
9. Matveev Yu.B. (2011). Energy use of household waste. *Solid household waste*, iss. 4, pp. 10–15. [in Ukrainian].
10. Alternative energy financing program in Ukraine (USELF PROGRAM). (2011). Technical Report on the Assessment of Renewable Energy Potential in Ukraine: Project Scenarios for the Renewable Energy Financing Program in Ukraine: Biogaz. [in German].

Стаття надійшла 26.02.2023