

УДК 332.155:502:628.4.03:662.767.2

ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПЕРЕРОБКИ ПОБУТОВИХ І ПРОМИСЛОВИХ ВІДХОДІВ НА БІОГАЗ

Г. Черевко, д. е. н., професор

ORCID ID: 0000-0002-0072-5816

А. Колодій, к. е. н., доцент

ORCID ID: 0000-0002-9320-6379

В. Шугало, аспірант

ORCID ID: 0000-0003-3573-1359

Львівський національний аграрний університет

© Г. Черевко, А. Колодій, В. Шугало, 2019

<https://doi.org/10.31734/agrarecon2019.01.098>

Черевко Г., Колодій А., Шугало В. Еколого-економічна ефективність переробки побутових і промислових відходів на біогаз

Досліджено еколого-економічну ефективність комплексу заходів із виготовлення біогазу в промислових масштабах міст та у межах домашнього господарства. Ідентифіковано втрату великої кількості енергії через неефективні методи ліквідації відходів сільськогосподарських продуктів, органічних частинок від рослин і дерев, а також неспожитих продуктів харчування. Представлено результати аналізу стану вирішення проблем із нагромадженням промислових і твердих побутових відходів, оцінки наявності в них органічних речовин і можливості переробки на енергетичні цілі. Описано найбільш еколого-ефективний метод утилізації органічної частини твердих побутових відходів. Ідентифіковано існуючі проблеми з нагромадженням та утилізацією листя. На прикладі утилізації листя проаналізовано можливі варіанти здійснення цього процесу та виявлено найоптимальніший із-поміж них. Актуалізовано проблему інтенсифікації та масштабів впливу комах на тварин та застосування можливих превентивних засобів інсектицидної боротьби. Наведено результати досліджень впливу різних методів переробки органічних відходів на ефективність вирішення проблеми збереження азоту і зростання якості азотних добрив, а також пов'язаного з цим підвищення вмісту гумусу в ґрунті. Описано можливості й технологічно-економічні та експлуатаційні характеристики, оптимальні режими роботи в процесі застосування біогазової установки для переробки побутових відходів в умовах домашнього господарства. Охарактеризовано можливість переходу населення на варіант споживання їжі із замкнутим циклом відходів. Розглянуто еколого-економічні параметри застосування побутової біогазової установки, а на базі цього – можливості сприяння формуванню у населення екологічної свідомості й формування у нього мотивації до збалансованого природокористування. Узагальнено існуючі можливості та еколого-економічний вплив комплексного використання промислових і побутових відходів внаслідок видобутку з них біогазу.

Ключові слова: біогаз, органічні відходи, біопаливо, біомаса, біодобриво, листя, гумус, утилізація, еколого-економічна ефективність.

Cherevko H., Kolodiy A., Shugalo V. Ecological and economic efficiency of processing of domestic and industrial waste into biogas

The ecological and economic efficiency of a complex of measures for the production of biogas at industrial scale of cities and within the frameworks of a household is investigated. Loss of a large amount of energy in connection with inefficient waste disposal methods from residues of agricultural products, organic particles from plants and trees, and undigested foods has been identified. The results of the analysis of the state of solving problems with the accumulation of industrial (IW) and solid household wastes (SHW), evaluation of the presence of organic substances in them and the possibilities of processing for energy purposes are presented. The most ecologically effective method of utilization of an organic part of solid waste is described. Identified

The existing problems with the accumulation and utilization of leaves are identified. On the example of leaf utilization, possible variants of utilization of them have been analyzed and the most optimal of variants has been identified. The problem of intensification and scale of the impact of insects on animals and the application of possible preventive measures of insecticidal control has been updated. The results of research of the influence of various methods of organic waste processing on the efficiency of solving the problem of preservation of nitrogen and improving the quality of nitrogen fertilizers and the associated increase in humus content in the soil are given. Opportunities, technological and economic and operational characteristics and optimal modes of work are being described in the process of using of small biogas plant for the processing of household waste. The possibility of switching the population to a variant of the consumption of food with a closed cycle of waste is characterized. The ecological and economical parameters of the domestic biogas installation are considered and on the basis of this - the possibility of promoting the formation of the ecological consciousness of the population and the formation of his motivation to the balanced use of nature as well. The identified existing opportunities and the ecological and economic impact of integrated use of industrial and domestic wastes through the extraction of biogas from them are generalized.

Key words: biogas, organic waste, biofuel, biomass, bionutrition, leaves, humus, utilization, ecological and economic efficiency.

Постановка проблеми. Пересічна людина практично не звертає увагу на те, скільки органічних відходів викидає щодня на сміття. Аналогічно їй виробники промислової та сільськогосподарської продукції також не звертають уваги на те, скільки уречевленої енергії викидається на сміття у вигляді відходів виробництва. За підрахунками вчених і практиків, щороку людство продукує понад 2 млрд т сміття. Це в середньому 200 кг на людину. У країнах активного споживання ця цифра сягає 2 т на рік на людину. Відходи гниють на сміттєзвалищах, забруднюють підземні води та руйнують екосистеми. У багатьох країнах світу давно замислилися над тим, як уникнути перетворення планети на великий смітник (Єрмоленко, 2017). Виявляється, сміття можна переробляти знову в ресурс і робити з нього корисні речі або енергію. Вважається, що в середньому на одного жителя за рік накопичується 250 кг твердого сміття (у США – 715 кг, у Швеції – 480 кг, у Росії – 270 кг). До складу комунальних твердих побутових відходів входять: папір, картон (37%); кухонні відходи (30,6 %); дерево (1,9 %); шкіра і гума (0,5 %); текстиль (5,4 %); штучні органічні матеріали, головно, поліетилен (5,2 %); кістки (1,1 %); скло (3,7 %); кераміка, камінь (0,8 %) та інші (9,7 %). Що стосується України, то у середньому житель великого міста щодня викидає у навколишнє середовище близько 1–2 кг сміття. Підраховано: щорічно жителі України виробляють 11 млн м³ побутових відходів, вони займають

260 тис. га – приблизно таку саму площу, як держава Люксембург (Кутова, 2012). Щодо приладів, акумуляторів та інших пристроїв, які потребують утилізації, схема дій зрозуміла. Батарейки до побутових приладів та устаткування передаються на утилізацію у відповідні місця, які передбачають прийом саме цих видів елементів живлення. Переважно такі місця розміщені в магазинах продажу таких елементів живлення, супермаркетах, торговельно-розважальних центрах і навіть у житлових будинках. Але ж якщо людина купила 100 кг картоплі, використала її на приготування їжі, то утворені при цьому відходи вона практично завжди викидає у сміття, після чого настає період їхнього гниття і псування навколишнього середовища. При цьому практично ніхто не задумується над тим, що такі відходи – це цінна сировина, з якої можна випродукувати значну кількість енергії, а також біодобриво. Ми втрачаємо явну економічну, енергетичну та екологічну вигоду, ще й збільшуємо площі під сміттєзвалищами, чим свідомо провокуємо забруднення навколишнього середовища. Тобто проблема полягає в тому, щоб розробити механізм мотивування створювачів побутових і промислових відходів до їхньої переробки на цінні для людей продукти – енергію і біодобрива.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема утилізації промислових і побутових відходів активно займаються як вітчизняні, так і зарубіжні вчені. Так, Кутова

Ю. (2012) та Єрмоленко В. (2017) вказують на те, що кількість відходів росте і з цим потрібно щось робити. Передусім належить шукати позитивний досвід утилізації цих відходів. Кутова Ю. (2012) зазначає, що 30,6% з них – це кухонні відходи, тобто залишки від приготування і споживання їжі, і що це є досить значна частина від їхнього загального об'єму. Мазурак О., Мазурак А., Качмар В. та Лисак А. (2017) описують процеси виділення токсичних речовин при зброджуванні та гнитті зазначених відходів, а також супроводжуючі їх явища утворення й надходження в навколишнє середовище отруйних діоксинів й існуючі можливості їхнього розщеплення. Третьяков А. (2003) звертає увагу на досить значну проблему з утилізацією опалого листя та посохлії трави й пропонує раціональніші методи й ефективного і безпечного вирішення. Павличенко А., Борисовська О. та Паршуткін М. (2013) описують негативний вплив процесу спалювання листя та сухої трави на стан навколишнього природного середовища та якість життя населення. Д'яконов В., Д'яконов О., Скрипник О., Нікітченко О. (2016) звертають увагу на виділення значного обсягу канцерогенних речовин типу бензопірену при спалюванні листя та можливості його екологічнобезпечної та економічно й енергетично вигідної переробки. У своїй праці Скляр О. та Скляр Р. (2013) розкривають основні переваги анаеробного зброджування органічних речовин, що містяться у промислових і побутових відходах, порівняно з процесом компостування, а також описують позитивний вплив поживних речовин, які при цьому утворюються, на врожайність. Ефраті О., Теллер Я. та Ланцер Е. (2018) описують, як можна модернізувати біогазову установку для умов домогосподарств і набутий вже досвід в ефективному й безпечному користуванні нею. Тобто проблема ефективного економічно та екологічнобезпечно використання побутових і промислових відходів на енергетичні цілі є достатньо актуальною й багатогранною. Науковці й практики досить ґрунтовно описують можливості її вирішення, але умови утворення зазначених відходів є надзвичайно динамічними, тому

пошук шляхів оптимального вирішення цієї проблеми потребує постійного моніторингу, що створює широке поле для здійснення відповідних досліджень.

Постановка завдання. Метою нашого дослідження було визначення еколого-економічної ефективності вживання комплексних заходів з утилізації промислових і побутових відходів через їхню переробку на біогаз і біодобрива у промислових масштабах та у межах домашнього господарства й формування загального бачення вирішення проблеми комплексної утилізації органічної частини зазначених відходів.

Методика дослідження та матеріали. Методика проведеного дослідження охоплює як відомі загальнонаукові методи (наукової абстракції, аналізу і синтезу, індукції і дедукції, наукового узагальнення), застосування яких допомагало систематизувати й опрацювати доступну інформацію стосовно існуючого досвіду виготовлення біогазу з органічних відходів, так і не менш відомі методи суто економічного характеру (економіко-статистичні, порівняння, розрахунково-конструктивний). Основний методичний підхід, реалізований у нашому дослідженні, полягає в аналітичному узагальненні та інтерпретації результатів наукових пошуків учених, котрі займаються проблемою оптимальної утилізації органічних відходів. Загалом дослідження здійснено з дотриманням основних засад діалектичного принципу у вивченні економічних явищ. Застосування описаної методики дало змогу ґрунтовно вивчити й опрацювати матеріали статистичних джерел і доробок відповідних учених, що в сукупності становило основу інформаційної бази для написання статті.

Виклад основного матеріалу. Україна (починаючи з 2012 року) посідає перше місце у світі за кількістю утвореного сміття на душу населення. Загальні обсяги відходів, які накопичилися за роки незалежності в нашій країні, за різними підрахунками, сягають 30 млрд тонн. Так, за даними Мінрегіонбуду від березня 2015 року, загальні обсяги утворення лише твердих побутових відходів

(ТПВ) сягають понад 11–12 млн т щороку. А відповідно до звіту Національної комісії з питань регулювання в галузях електроенергетики та комунальних послуг, опублікованого на офіційному сайті відомства, з 2010 до 2015 року темпи приросту сміття становили 10–15 % за обсягом та вагою відповідно. Тому сьогодні Україна вийшла на рівень приросту сміття в обсязі 15 млн т на рік (Яковлева, 2017).

У процесі нагромадження значних обсягів органічних відходів відбувається самовільне продукування істотних об'ємів метану, що супроводжується забрудненням водних ресурсів і ґрунтів нітратами, нітридами, фосфатами. При цьому також здійснюються викиди в навколишнє середовище речовин із неприємним запахом (сірководню, аміаку, меркаптанів) на полігонах, сміттесортувальних лініях і компостувальних заводах під час дозрівання компосту. Із первинного сміттевого матеріалу на звалищах органічних відходів можуть утворюватися діоксини.

Одним із природних способів руйнування діоксинів є використання впливу мікроорганізмів, наприклад типу *Arthrobacter*, які розщеплюють вуглеводневі кільця зазначених надтоксичних сполук. Встановлено також, що деякі гриби, наприклад *Phanerochaete chrysosporium* (збудники «білої гнилі»), в аеробних умовах також розкладають діоксини без шкоди для себе (Мазурак, Мазурак, Качмар та Лисак, 2017).

Найбільшу масову частку побутових відходів складають органічні відходи: кухонні, харчові, садові, а також вологі і забруднені відходи паперу. Органічні відходи можуть бути чудовим добривом і не потребують захоронення на полігоні ТПВ. Якщо сміття змішане з органічними (мокрими) відходами, його сортування значно ускладнюється, а ефективність сортування й переробки зменшується. Найефективнішими та економічно виправданими є сортування і переробка органічних відходів на місці з подальшим вивезенням продукції цієї переробки. При переробці органічних відходів можна також отримувати якісне добриво. При цьому фізичний об'єм відходів після переробки зменшується у 2–3 рази (Органічні..., 2018). Тобто, якщо ми сортуватимемо відходи,

збиратимемо їх та перероблятимемо на біогаз та біодобрива, це приведе до зменшення «сміттевого пакета» населення на 30 %, що відповідно значно поліпшить ситуацію як у сфері управління відходами, так і в енергетичній галузі, а також до зменшення площі під полігонами ТПВ й активно сприятиме зрівноваженому розвитку сільських і міських територій.

Якщо говорити предметно, то згідно зі статистикою кожна середня сім'я викидає 300–700 кг органічних відходів за рік. Із цього «сміття» можна отримати біогаз і біодобрива, а найважливіше – зменшити кількість відходів та сформувати замкнутий цикл споживання й повну оборотність продукції сільського господарства. Там, де щільність населення велика, тобто у містах та містечках, ефективно будувати середні й великі (в мегаполісах) біогазові установки, вводити операцію сортування сміття, тобто всі органічні відходи від приготування їжі поміщати у спеціальні контейнери, які після їх заповнення замінюються на нові. Заповнені контейнери відправляються на вивантаження у бункер запасу, з якого автоматично частина органічних відходів відбирається у біогазову установку для бродіння. Крім вирішення проблеми утилізації відходів, при цьому отримують біогаз та біодобрива. Із біогазу можна отримувати електро- й теплоенергію у тій пропорції, в якій буде потреба. Також не потрібно забувати про відходи органічної продукції з великих супермаркетів та овочево-фруктових ринків, які можуть становити колосальні обсяги сировини для біогазової установки на кожен день. Отримана з біогазу енергія може значно зменшити споживання газу на утворення теплоенергії у великих містах.

Однією з актуальних проблем у нашій країні восени є спалювання опалого листя, а навесні – торішньої трави. У пік осіннього спалювання листя повітря у великих містах стає важким і гірким, що призводить до збільшення випадків захворювань дихальних шляхів. Ситуація ускладнюється ще й сезонними особливостями погодних умов: безвітряна погода, підвищення кількості туманних днів, висока вологість. Це сприяє тому, що дим не піднімається вгору, а стелиться низько над землею, вкриваючи не лише територію

підпалу, а й прилеглі до неї райони. При цьому це опале листя є цінною відновлюваною органічною сировиною, яка щорічно накопичується і може бути використана для отримання енергії та добрив (Третьяков, 2003). Будь-який органічний матеріал, незалежно від того, чи це частини рослин, кістки тварин або продукти органічного синтезу, згораючи, повинен утворювати одне й те саме: вуглекислий газ, водяну пару і незначну кількість оксиду азоту. Проте відбувається це тільки за дуже високої температури і достатньої кількості кисню. Якщо матеріал має навіть незначну вологість, температура його згорання знижується. Таку ситуацію можна спостерігати, коли горить опале листя й трава: тільки верхня частина купи отримує досить кисню, тоді як середні шари тліють і димлять, виділяючи токсичні й просто шкідливі для здоров'я хімічні речовини.

Основна складова диму – окис вуглецю, або чадний газ. Підраховано, що тонна тліючих рослинних решток у середньому виділяє близько 30 кг CO₂. Рівень чадного газу біля тліючої купи листя так само високий, як і на міській вулиці з інтенсивним рухом. У поєднанні з іншими забруднювачами, такими, як промислові викиди або вихлопні гази, токсична дія чадного газу значно зростає порівняно з дією окремих компонентів.

Крім того, дим сприяє активнішому утворенню туману, при цьому з туманом же й змішуючись. У сирі, туманні дні мікрочастки, з яких складається дим, міцно зв'язуються з парами води, утворюючи «смог», який особливо шкодить органам дихання. Вплив димових часток на організм залежить, головним чином, від їхнього розміру. Великі частки (понад 10 мкм в діаметрі) вловлюються носовим слизом і глибше не проходять. Дрібніші частки можуть досягати легень і шкода, завдана ними, є набагато значнішою (Павличенко, Борисовська та Паршуткін, 2013). Тонна рослинних відходів, спалених у тліючому вогнищі, генерує близько 9 кг цих мікрочасток. Мікрочастки, що виділяються під час згорання листя, зв'язуються з водяними парами і значно затрудняють функціонування альвеол легень, адже змішаний з туманом дим у набагато більшому обсязі осідає саме в легенях. І чим менша частка,

тим швидше вона проникає всередину і тим більшу шкоду людському організму може завдати.

Особлива небезпека неповного згорання рослинної тканини полягає в тому, що її основа – целюлоза (природний полімер) – розпадається на фрагменти з коротким вуглецевим ланцюгом або утворює поліциклічні з'єднання. Найбільш небезпечний вплив на людину справляють ароматичні поліциклічні вуглеводи (ПАВ), наприклад, бенз(а)пирени, бензантрацени та інденопирени, багато з яких є дуже сильними канцерогенами. Дим деревини, що горить, – значний забруднювач. Дим вогнища містить 70 частин на мільйон канцерогенних бенз(а)пиренів – це є приблизно в 350 разів більше, ніж у тютюновому димі.

Видалене з території міста листя недоцільно вивозити на полігони твердих побутових відходів, адже його можна утилізувати, інакше кажучи, застосувати з користю. Його цілком можна переробляти на біогаз на біогазовій установці разом з іншими органічними відходами, при цьому ще й мати додаткову кількість сировини на початку опалювального сезону, тобто отримати більший об'єм біогазу й біодобрив. Для цього потрібно задіяти превентивну функцію, спрямовану проти спалювання листя, тобто забруднення навколишнього середовища, або нагромадження цих органічних відходів у формі опалого листя на сміттєзвалищах. Взагалі опале листя можна також використовувати у вермикультуванні, компостуванні (як промислового так і місцевого), переробці на паливні гранули чи брикети, для виготовлення волокнистих, стружкових та гіпсових плит (Д'яконов В., Д'яконов О., Скрипник та Нікітченко, 2016). Зазвичай поширенішим є спалювання листя за межами міст, а у межах міст – вивезення на сміттєзвалища, де відбувається повільний розклад органічного субстрату та інтенсивне розширення площ самого сміттєзвалища. За такого розкладання органіки ми втрачаємо тепло, а також біогаз, який складається переважно з метану. При цьому також втрачається можливість компостування цього листя внаслідок погіршення його компостуотворювальних властивостей. Щодо ідеї нагромадження листя біля дерев і сприяння нагромадженню поживних речовин, то тут є

один важливий небезпечний чинник, а саме – можливість зимівлі у ньому шкідників та поширення хвороботворних організмів, які можуть вражати все більше насаджень. Компостування та вермикультивування як вид переробки листя є досить недорогим за вартістю виготовлення й простотою виконання, інвестиції для запуску такого проекту також є мінімальними. Але він має й низку недоліків. По-перше, сезонний характер – листя потрібно прибирати раз на рік, тобто сировину ми масово нагромаджуватимемо раз на рік, що є не надто цікавим з економічної точки зору. По-друге, нагромаджені й невикористані запаси листя мають властивість помаленьку гнити, виділяючи сірководень, метан та гнильні гази, тому такі ферми потрібно розташовувати подалі від населених пунктів. У свою чергу значна віддаленість від сировинних пунктів зменшуватиме рентабельність і в кінцевому результаті ми забруднюємо (парниковими газами) атмосферу. Звичайно, цей вплив можливо мінімізувати вермикультивуванням, але не повністю. І, по-третє, ми втрачаємо значну кількість енергії, яка може утворитися при виробництві біогазу. Тобто вказаний метод не дає нам того оптимального результату, який забезпечує переробка листя на біогаз. Листя виступає в ролі додаткової сировини перед або під час опалювального сезону, коли потреби в енергоресурсах значно зростають. При цьому ми отримуємо і біогаз, а також рідкі та сухі біодобрива, існує можливість надлишок або ж усю кількість біогазу перетворювати на енергію як теплову, так і електричну, у потрібній пропорції, виходячи з конкретної потреби, що сприяє економічній привабливості такого варіанта утилізації, можливості регулювання енергетичного балансу, тобто накопиченню й використанню утвореної енергії, а також не має додаткових забруднювальних газів, парникових газів і неприємного запаху.

Зазвичай відходи від тваринницьких підприємств створюють більшу небезпеку забруднення водних ресурсів, шкідливого впливу на стан санітарії відповідних територій, мають значно неприємніший запах, а також приваблюють мух та інших шкідливих комах. У свою чергу це має вираженіший негативний вплив на навколишнє середовище,

зменшує ефективність галузі тваринництва, оскільки шкідливі комахи є стресовим фактором для тварин (Особливості..., 2015). І якщо не вживати превентивних заходів, це призводить до низки проблем зі санітарією, що у свою чергу негативно впливає на здоров'я поголів'я та його продуктивність і відповідно й дохідність галузі. А це, звичайно, потребує додаткових часу й грошей на усунення низки взаємопов'язаних проблем, якщо не утилізувати гній у герметичному резервуарі, наприклад у біогазовому метантенку, та отримувати легкозасвоювані добрива, очищені від патогенних мікроорганізмів.

Цінність одержуваного при цьому біодобрива полягає ще й у тому, що за перепрівання гній втрачає частину нітратів і нітритів, які в надлишку містяться в ньому домашніх тварин і птахів. У процесі ферментації вони зброджуються в аміак і метан. У зброженій масі містяться корисні фосфор, калій і азот, які повністю залишаються у біодобриві.

Основна перевага анаеробного збродження полягає у збереженні в органічній або амонійній формі практично всього азоту, що міститься у вихідній сировині. За традиційних способів приготування органічних добрив (компостування органічних решток) втрати азоту становлять до 30–40 %. Анаеробна переробка гною порівняно з незброженим гноем учетверо збільшує вміст амонійного азоту (20–40 % азоту переходить в амонійну форму). У результаті зброжений гній порівняно зі звичайним в еквівалентних дозах підвищує врожайність сільськогосподарських культур на 10–20 %. Висока рентабельність біогазових технологій забезпечується одночасним виробництвом високо-ефективних органічних добрив, 1 т яких (за ефектом «на врожай») рівноцінна 70–80 т природних відходів тваринництва й птахівництва. Шлам можна розділити на дві фракції – рідку і тверду – за допомогою шнекових прес-сепараторів. І та, й інша є добривом. Рідка фракція гною після анаеробної переробки зазвичай відповідає вимогам органів охорони природи до якості стічних вод. Його можна відразу використовувати як добриво для прикореневого підживлення сільськогосподарських культур.

У підтримці екологічної рівноваги в ґрунтах найвагомішу роль відіграє ресурс гумусу, який є живильним середовищем для ґрунтовірних мікроорганізмів, що стимулюють живлення рослин, їхні ростові процеси.

Оснoву гумусу складають рештки органіки рослинного походження: фракції, що найменше розклалися, фракції, що продовжують розкладатися, комплексні органічні речовини, які утворилися в результаті здійснення гідролізу й окиснення, і речовини, котрі є результатом життєдіяльності мікроорганізмів.

До складу гумусу входять гумінові кислоти, фульвокислоти і солі цих кислот, а також гумін – стабільні з'єднання гумінових, фульвокислот, кислот із ґрунтовими матеріалами. Гумін має значну питому поверхню (600–1000 м²/г), велику адсорбційну здатність. За внесення до ґрунту невеликої кількості гумусу, порівняно з іншими добривами, змінюється склад і структура мікрофлори. Це у свою чергу веде до зміни мікробіологічного режиму в ґрунтах, посилення процесів перетворення речовин та енергії. У результаті прискорюються обмінні процеси, задіюються нові цикли розвитку мікрофлори, зокрема, посилюється діяльність азотфіксуючих бактерій. У підсумку збагачується живильне середовище. Ґрунти, на яких вносять гумусні добрива, характеризуються такими ознаками:

- підвищується рухливість ґрунтового фосфору;
- активуються процеси нітроутворення в ґрунті, що у свою чергу сприяє значному зростанню загального й білкового азоту, збільшенню виділення вуглекислоти ґрунтом;
- прискорюється введення аміачних і амідних форм азоту, фосфору в рослини;
- підвищується концентрація калію, алюмінію за зниження кількості магнію, тобто гумати істотно впливають на вміст і динаміку ґрунтових катіонів.

Гумінові речовини, які є результатом розкладання органічних речовин, беруть активну участь у всіх важливих процесах ґрунтоутворення й формування ґрунтової родючості. Основним показником гумусного стану ґрунтів є вміст органічної речовини, оскільки вона істотно поліпшує фізичні, хімічні й біологічні властивості ґрунту,

сприяє родючості. Також органічні речовини мають низьку теплопровідність і запобігають швидкій віддачі тепла з ґрунту в атмосферу (Скляр та Скляр, 2013).

Для населення, яке живе в селах і приватних будинках за межами міста, існує можливість застосування невеликої біогазової установки для утилізації органічних відходів. Ізраїльські винахідники пристосували малу біогазову установку до потреб населення, вона чудово підходить для невеликих домашніх господарств, заміських будинків, де будь-які органічні відходи від приготування їжі, гній тварин можуть бути використані як сировина для отримання біогазу та біодобрива. При цьому ціна такої установки коливається в межах 900 доларів США (650–760 доларів сама установка й додатково доставка – 80–140 доларів США). Установка працює майже повністю автономно й автоматично, тобто шляхом її елементарного заповнення щодня органічними відходами від 2 до 6 л та відходами тварин до 20 л за наявності оптимальних температурних умов на добу. Ця установка змінює процес споживання:

А. Лінійне споживання:

1. Споживання газу для приготування їжі;
2. Споживання їжі;
3. Органічні відходи, які потрібно утилізувати;

Б. Замкнутий цикл (споживання та виготовлення вторинної сировини):

1. Споживання газу для приготування їжі;
2. Споживання їжі;
3. Органічні відходи, які потрібно утилізувати;

4. Отримання біогазу та спалення його для приготування їжі;

5. Отримання біодобрив, які можна використовувати для вирощування сільськогосподарських культур та інших рослин.

Піонери виробництва побутового біогазу зробили можливим ефективно перетворювати відходи на цінну сировину. Історія системи HomeBiogas починається з трьох давніх друзів і місії зробити вільну, відновлювану енергію доступною кожному у світі. Після чіткого аналізу й тестування існуючих конструкцій біогазової установки стало очевидно, що традиційні системи мають значні обмеження.

Ошик Ефраті, Яер Теллер та Ерез Ланцер (2018) вирішили модернізувати технологію і створити ефективний й міцний генератор біогазу, який би легко встановлювався і був доступним для всіх. У 2012 році вони сформували систему HomeBiogas. Початковий прототип HomeBiogas тестували у 2014 та 2015 роках у бедуїнських селах і палестинських громадах. У 2016 році система HomeBiogas першого покоління стала комерційно доступною, залучаючи клієнтів із понад 40 країн світу. Подальші дослідження, доопрацювання та оптимізація процесів привели до створення найсучаснішої моделі, яка була дешевшою, легшою у встановленні та більшої потужності для переробки відходів та виготовлення біогазу – HomeBiogas 2.0 (Ефраті, Теллер та Ланцер, 2018).

У середньому 1 кг харчових відходів дає близько 0,2 м³ газу, що генерує приблизно 1–2 години приготування їжі над високим полум'ям. Щоб запустити установку HomeBiogas, можна скористатися одним із двох способів: 1) природним шляхом, використовуючи 100 л гною тварин із місцевої ферми, або 2) можна придбати бактеріальний комплект.

Щороку, завдяки використанню біогазової установку HomeBiogas, можна вилучати з обороту тонну органічних відходів, а також зменшувати шкідливі викиди, еквівалентні шести тоннам вуглекислоти (CO₂). Використання HomeBiogas може компенсувати викиди вуглецю при використанні автомобіля.

HomeBiogas ідеально підходить для сімей різного розміру. Він не призначений для промислового використання або для таких закладів, як готелі чи великі ресторани, які продукують досить значну кількість органічних відходів, з якими ця установка не в змозі впоратися.

У свою чергу для еко-сіл, громадських центрів та освітніх організацій HomeBiogas є великим екологічно-освітнім інструментом. Це, так би мовити, частина пермакультури в дії, яка ідеально підходить для міні-ферм, а також центрів із дрібним тваринництвом. HomeBiogas також можна використовувати в міських умовах, розташовуючи на дахах будинків. Установка може наочно показувати складний процес та формувати засади

екологічної освіти, а також зацікавлювати у русі в напрямі збалансованого розвитку.

Система працює оптимально в місцях зі середньою температурою денна / нічна понад 17 °C (64 F). За такої температури вона знижуватиме свою продуктивність, для оптимальної продуктивності температура повинна бути вища за 20 °C. HomeBiogas не може працювати на територіях із холодним кліматом. Розробники ще працюють над цією проблемою. Щодо під'єднання будь-яких побутових приладів, у тому числі газової печі, її потрібно модифікувати для підтримки біогазу.

Розробники рекомендують встановлювати HomeBiogas на відкритому повітрі, тому що, після того, як газовий резервуар повністю заповниться (700 л), будь-який надлишковий газ буде викинутий в атмосферу. Але це легко виправити, додавши в систему ще один резервуар, хоча розробники більше зацікавлені у використанні денного запасу газу.

На відміну від описаної установки, компостери зазвичай придатні для переробки відходів із газонів, листя, деревних стружок і вегетаріанських речовин. Із багатьох причин компостери не підходять для кухонних відходів, таких як м'ясо, риба, олія та жири. HomeBiogas може доповнити компостер або ж навіть замінити його, оскільки він перетворює всі органічні відходи, навіть ті, які компостер не може переробити, а також забезпечує генерування газу та рідкого добрива для негайного використання.

У наших кліматичних умовах потрібно додатково забезпечити оптимальні температурні умови і для цього найкраще підійде незадіяна частина парника (теплиці) або ж господарські приміщення, основне – щоби при цьому була можливість опалення та хороша термоізоляція. Систему HomeBiogas належить так розмістити, щоб взимку устаткування отримувало максимум тепла від сонця для зниження затрат на опалення. Для цього доцільно додати ще один резервуар для біогазу та вивести скидну трубку на вулицю. Розробники також пропонують використання водонагрівача, який застосовують в акваріумах для підігрівання резервуару. У разі відсутності можливості підвищити температуру до 20° C (68° F) слід припинити

функціонування системи доти, доки середні температури не збільшаться до 20 °C (68° F), і сплячі бактерії знову пробудяться в теплому середовищі. Коли температура підвищиться, потрібно знову подавати у систему 3 л сировини на день і поступово збільшувати порції до 6 літрів (процес повинен тривати близько 2 тижнів). Що ж до ситуації, якщо температура опуститься нижче від температури замерзання, то належить злити щонайменше 200 л рідини зі системи. Коли температура знову підвищиться до 20 °C, потрібно заповнити агрегат, а потім поступово збільшувати кількість сировини на переробку – до 6 л на день протягом двох тижнів (Ефраті, Теллер та Ланцер, 2018).

HomeBiogas – це зручний пристрій, який використовує природні бактерії для перетворення всіх харчових відходів на чистий, поновлюваний біогаз для приготування їжі та рідких добрив прямо на задньому дворі садиби. Він чудово зможе забезпечувати щоденні потреби невеликої сім'ї. А в масштабах країни – це є значні об'єми газу, які йдуть для домогосподарств на приготування їжі. Якщо врахувати, що за день роботи такого біогазового устаткування продукується близько 0,2 м³ біогазу, за місяць – 6 м³, а за рік відповідно 72 м³, то при вартості газу 8,55 грн/м³ річна економія складатиме 615,6 грн. За вартості газу у розмірі 12,4 грн/м³ – 892,8 грн/рік. Що ж до кількості біодобрива, то продукується 2–3 л на день, ціна каністри (20 л) – близько 105–110 грн (Біодобрива..., 2018). Тобто 5,4 грн/л, а за місяць ми отримуємо 75 л, за рік – 900 л, що еквівалентно 4860 грн/рік. За цін на 02.01.18 в сумі ми отримуємо 5475,6 грн/рік, термін окупності складе 5 років, а у разі підвищення вартості газу та біодобрива термін окупності ще зменшиться (Біогазові установки, 2018).

Щодо наявності на українському ринку невеликих біогазових установок можна зазначити, що вони зустрічаються, але виготовляються майже під замовлення, у нас немає відкритих поширених проєктів-аналогів HomeBiogas. У нас є проєкти з об'ємом реактора 200–220 л та зі системою електронного підігріву сталевого бака. До плюсів такого варіанта відноситься й те, що можна коригувати параметри, іденти-

фікувати і виправити недоліки, до мінусів – потрібно чекати певний час, щоб протестувати й налаштувати роботу біогазової установки.

Висновки та перспективи подальших наукових пошуків. Переробка органічної частки промислових і побутових відходів є значним резервом для покращання енергетичного забезпечення країни за рахунок їхньої переробки на біогаз. При цьому ще й позитивно вирішується питання поліпшення родючих властивостей сільськогосподарських ґрунтів за рахунок їхнього удобрення якісними органічними біодобривами, які утворюються після переробки зазначених відходів на біогаз. У сукупності ці заходи формують значний позитивний еколого-економічний ефект як за рахунок одержання додаткових енергоносіїв, так і за рахунок запобігання забрудненню навколишнього середовища. Як у містах, так і в невеликих містечках і селах є значний потенціал для виготовлення біогазу з органічних відходів промислового й побутового характеру. Із ростом цін на газ та електроенергію процес поширення виготовлення біогазу все стрімкіше набирає обертів. Але порівняно з країнами Європи ми ще значно відстаємо у кількості біогазових установок та обсягах виробництва біогазу й біодобрив.

Розглянутий у статті досвід використання невеликих біогазових установок свідчить також про те, що вони виконують і значну освітню роль з формування свідомого безпечного використання та утилізації відходів. Потрібно, щоб кожен великий виробник мав замкнутий технологічний цикл. Населення як значний споживач продуктів харчування і генератор при цьому великої кількості відходів наразі не має замкнутого циклу цього споживання і з кожним днем збільшує кількість відходів від споживання органічних продуктів, що об'єктивно продовжуватиметься й надалі. Щоб вирішити цю проблему, виробник повинен закласти у вартість продукції додаткові витрати на утилізацію відходів, підготувати відповідну інфраструктуру й здійснювати роботу щодо організації утилізації відходів, що є економічно не вигідною для споживача й вимагає додаткових

дій та витрат з боку виробника або ж перекладання цієї ваги на споживача, який має передати продукт або його залишки у відповідну компанію для утилізації чи самостійно це зробити за наявності такої можливості. Основне, щоб це зробити економічно ефективно й екологічно безпечно. Саме переробка органічних відходів у біогазовій установці є універсальним та еколого-економічно ефективним заходом. При цьому переробка листя в сезон не створить

проблем, а, навпаки, забезпечить додатковий сировинний ресурс, а відтак збільшення обсягів виробництва біогазу. Тому саме за комплексного використання ефективність біогазової установки ще більше зростатиме.

Малі біогазові установки – це чудове вирішення для невеликих домогосподарств, освітніх центрів як у плані переробки відходів на цінні ресурси, так і у плані формування екологічної свідомості у населення.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

Біогазові установки для переробки органічних відходів. 2018. [online] Доступно: <https://prom.ua/ua/p623100862-biogazovaya-ustanovka-vsesezonka.html> [Дата звернення 21 грудня 2018].

Біодобрива. Фітоаміногумат. 2018. [online] Доступно: <https://ua.all.biz/uk/fitoaminogumat-agroasystent-f-18-g16261084> [Дата звернення 21 грудня 2018].

Д'яконов, В. І., Д'яконов, О. В., Скрипник О. С. та Нікітченко, О. Ю., 2016. Еколого-економічні питання утилізації опалого листя на територіях міста. *Комунальне господарство міст: Економічні науки*, [online] 129, с. 51–55. Доступно: http://nbuv.gov.ua/UJRN/kgm_econ_2016_129_13 [Дата звернення 21 грудня 2018].

Ефраті, О., Теллер, Я. та Ланцер, Е., 2018. *The HomeBiogas story.* [online] Доступно: https://www.homebiogas.com/Our_Story [Дата звернення 26 грудня 2018].

Єрмоленко, В. 2017. *Без сміття: хто у світі навчився жити без відходів.* [online] Доступно: <https://hromadske.ua/posts/pererobka-smittya-u-sviti> [Дата звернення 10 грудня 2018].

Кутова, Ю. 2012. *Проблеми утилізації відходів.* [online]. Доступно: <https://sites.google.com/site/smittaustvititaukraiени/home> [Дата звернення 11 грудня 2018].

Мазурак, О. Т., Мазурак, А. В., Качмар, В. Н., Лисак, А. Г., 2017. Екологічні аспекти утилізації органічних відходів. *Науковий вісник НЛТУ України*, [online] 27(4), с. 100–102. Доступно: <https://doi.org/10.15421/40270422> [Дата звернення 15 грудня 2018].

Органічні (біологічні) відходи – переробка. 2018. [online] Доступно: <https://7promeniv.com.ua/vidkhody/vtorresursy/orhanika.html> [Дата звернення 21 грудня 2018].

Особливості боротьби з мухами у тваринництві, 2015. *Пропозиція,* [online] Доступно: <https://propozitsiya.com/ua/osoblivosti-borotbi-z-muhami-u-tvarinnictvi> [Дата звернення 21 грудня 2018].

Павличенко, А. В., Борисовська, О. О. та Паршуткін, М. А., 2013. *Шляхи вирішення проблеми поводження з рослинними відходами у м. Дніпропетровськ.* [online] Доступно: <http://ir.nmu.org.ua/bitstream/handle/123456789/150157/197-202.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [Дата звернення 4 грудня 2018].

Скляр, О. Г., Скляр, Р. В. 2013. *Властивості біодобрив, що отримуються після анаеробної ферментації гною.* [online]. Доступно: <http://elar.tsatu.edu.ua/handle/123456789/3737> [Дата звернення 21 грудня 2018].

Трегьяков, А. С., 2003. Потенциал использования отходов агропромышленного комплекса, как нетрадиционного вида топлива: пространственный аспект. *Вісн. Харк. нац. ун-ту*, 584'03, с. 79–82.

Яковлева, Н. 2017. *Поправка до закону: З 2018 Україна буде сортувати все сміття.* [online] Доступно: <http://ecotown.com.ua/news/Popravka-do-zakonu-Z-2018-roku-Ukrayina-bude-sortuvaty-vse-smittya/> [Дата звернення 21 грудня 2018].

Стаття надійшла 14.05.2019.