

УДК 621.311

О.В. ГРУБНИК, О.П. КОСТОГРИЗ, К.С. МАРТИНЮК
Херсонський національний технічний університет**ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЛИСТЯНОЇ БІОМАСИ
ЗЕЛЕНИХ НАСАДЖЕНЬ МІСТ ЯК ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ**

У роботі розглянута проблема утилізації опалого листя у населених пунктах. Показана можливість ефективного вирішення проблеми корисним використанням листяної біомаси як джерела енергоресурсів. Оцінені щорічні обсяги ресурсної бази по листяній біомасі для м. Херсона, які можуть бути використані для виробництва енергії. На основі проведеного порівняльного дослідження сучасних технологій переробки подібних відходів визначений найбільш ефективний метод утилізації листяної біомаси - бродіння з виробництвом біогазу. Розраховані можливі обсяги отриманого палива та енергії для м. Херсона, оцінена доля в структурі енергоспоживання міста.

Ключові слова: утилізація відходів, зелені насадження, листяна біомаса, біогаз, нетрадиційні джерела енергії.

А.В. ГРУБНИК, А.П. КОСТОГРЫЗ, Е.С. МАРТЫНЮК
Херсонский национальный технический университет**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛИСТВЕННОЙ БИОМАССЫ
ЗЕЛЕННЫХ НАСАЖДЕНИЙ ГОРОДОВ КАК ИСТОЧНИКА ЭНЕРГИИ**

В работе рассмотрена проблема утилизации опавших листьев в населенных пунктах. Показана возможность эффективного решения проблемы полезным использованием лиственной биомассы как источника энергоресурсов. Оценены ежегодные объемы ресурсной базы по лиственной биомассе для г. Херсона, которые могут быть использованы для производства энергии. На основе проведенного сравнительного исследования современных технологий переработки подобных отходов определен наиболее эффективный метод утилизации лиственной биомассы - брожение с производством биогаза. Рассчитаны возможные объемы получаемого топлива и энергии для г. Херсона, оценен вклад в структуру энергопотребления города.

Ключевые слова: утилизация отходов, зеленые насаждения, лиственная биомасса, биогаз, нетрадиционные источники энергии.

A.V. HRUBNYK, A.P. KOSTOGRYZ, K.S.MARTYNUK
Kherson National Technical University**RESEARCH OF EFFICIENCY OF THE USE OF LEAFY BIOMASS OF GREEN
PLANTATIONS OF CITIES AS ENERGY SOURCE**

The problem of utilization of abscised leaves is in-process considered in settlements. Possibility of effective decision of problem is shown by the useful use of leafy biomass as a source of energy. The annual volumes of resource base are appraised on leafy biomass for Kherson, that can be used for the production of energy. On the basis of undertaken a comparative study of modern technologies of processing of similar wastes the most effective method of utilization of leafy biomass is certain is fermentation with the production of biogas. The possible volumes of the got fuel and energy are expected for Kherson, a contribution is appraised to the structure of energy consumption of city.

Keywords: utilization of wastes, green plantations, biogas, unconventional energy sources.

Постановка проблеми

На сьогоднішній день одною з найгостріших проблем не тільки України, а й світу, є проблема дефіциту енергоресурсів. Промислово-технологічний потенціал країни багато в чому визначається енергоозброєністю. Доступність та низька вартість енергії є запорукою підвищення рівня життя населення. У зв'язку з нестачею власних традиційних енергоресурсів (нафти, газу, вугілля) та низки проблем з їх імпортом, пошук можливостей та технологій використань нетрадиційних енергоджерел - актуальна задача. У зв'язку з бурхливим розвитком технологій спостерігається тенденція зниження їх вартості, що призвело до чергового сплеску інтересу до розвитку технологій з застосуванням, зокрема, біологічного палива. Біопаливо досить давно використовувалося людством для обігріву і отримання такої потрібної йому енергії. Все більше уваги багато дослідників та підприємців звертають на використання вітрової та сонячної енергії. Однак одним з суттєвих недоліків цих нетрадиційних джерел є

неможливість регулярного і непередбачуваного у часі режиму енергогенерації, що унеможливило їх використання без систем акумуляції або резервування. Масова заготівля деревного палива (існуюча зараз навіть у цілком розвинених країнах) означає вирубку лісів з усіма наслідками, що випливають. Останнім часом значна увага приділяється технологіям вирощування і переробки технічних культур, таких як рапс, кукурудза, з метою використання їх у якості палива (біодизель, біоетанол та ін.), але такий підхід потребує використання сільгоспугідь, які можна використовувати для забезпечення людства їжею, якої на сьогодні не вистачає. Проте існуючі зелені насадження міст та інших населених пунктів щорічно восени створюють значні обсяги біомаси, яка, як правило не тільки не використовується з користю, але й створює проблеми з її прибиранням і вивезенням на сміттєзвалища.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

На сьогоднішній день поновлювані джерела енергії займають значне місце в енергобалансі країн світу. Як свідчать дані Міжнародного енергетичного агентства [1] 13,1% первинної енергії в світі в 2010 р було вироблено з відновлюваних джерел енергії, більшу частину яких склала біомаса - 9,9%. За період з 1991 р споживання енергії з відновлюваних джерел в ЄС збільшилося в два рази і склало в 2009 р 153 млн. т/рік, або 9% загального енергоспоживання ЄС-27. Енергія з біомаси склала 107,1 млн. т. (70% від всіх відновлюваних джерел) [2].

Виробництво електроенергії в ЄС в останні роки тримається на рівні 3200...3300 ТВт·год/рік. На частку відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) припадає близько 21% загального обсягу виробництва електроенергії. У структурі виробництва електроенергії з поновлюваних джерел перше місце займає гідроенергетика (57% всіх ВДЕ), на другому і третьому місцях знаходяться енергія вітру (21%) і біомаси (19%). Всього за рахунок відновлюваних джерел енергії в ЄС в 2020 р. повинно бути забезпечено 34% загального споживання електроенергії. Виробництво електроенергії з біомаси (тверда біомаса, органічні відходи, біогаз) має потроїтися і досягти 300ТВт·год/рік [3].

Природною заміною викопної паливної сировини була і залишається паливна сировина рослинного походження. Зернові та олійні культури служать сировиною для біоетанолу і біодизеля, побічним же продуктом їх виробництва є біогаз. Альтернативою твердому паливу - вугіллю - в розвинених країнах вже не перший рік є пелети - гранульовані відходи деревообробної промисловості (тирса, тріска) і сільського господарства (лузга соняшника, солома зернових). Теплота згоряння пелет близька до вугільної, але при їх згоранні викид CO₂ в 10-50 разів менше, а золи - в 15-20 разів. Відповідно до технології, в альтернативні паливні брикети можна перетворювати будь-яке сміття: тирсу, кору дерев, очерет, соломку, сіно, відходи кукурудзи і соняшнику [4].

Формулювання мети дослідження

Метою роботи є дослідження можливостей використання листяної біомаси яка на сьогоднішній день майже не використовується з користю і потребує витрат на її збирання та вивезення, у якості енергетичного ресурсу.

Викладення основного матеріалу дослідження

Щоосені перед комунальними службами, мешканцями міст та інших населених пунктів постає проблема прибирання опалого листя. Несвідомі громадяни часто вдаються до найбільш простого вирішення цієї проблеми – його спалення, не розуміючи всієї шкоди від таких дій. Дим, що утворюється при спаленні, містить велику кількість небезпечних речовин. На наш погляд, проста заборона спалення не вирішить проблему. Опале листя можна розглядати як джерело енергоресурсів, що можна використовувати з користю і в сільському господарстві, як добриво, і як паливо для твердопаливних котлів.

Щороку в Києві опадають більше 100 тисяч тон листя. Загальна площа зелених насаджень в забудованій частині столиці становить 16,8 тис. гектарів. На одному гектарі росте в середньому 260 дерев. Під час осипання вага 1 квадратного метра листового шару в зволоженому стані становить 100 грамів. Вага листя одного дерева середнього віку - 35 кг, молодого - близько 10 кг (молоді займають близько 40% загальної площі зелених насаджень). Вага 1 куб. метра вологого листя - 300 кг. Загальна вага листової маси в середньовікових насадженнях з 1 гектара - 9,1 т.; молодих - 2,6 т. Загальна ж вага всієї листової маси столиці становить близько 100-110 тисяч т. [4, 5].

У зв'язку з відсутністю у нас даних по площі зелених насаджень міста Херсона, орієнтуючись на наведені показники для м. Києва, розрахуємо приблизні обсяги ресурсної бази по листяній біомасі для м. Херсона. Виходячи з пропорційності площі Києва (847,7 км²) та Херсона (65,2 км²):

$$k_{\text{пр}} = S_{\text{Київ}}/S_{\text{Херсон}} = 847,7\text{км}^2/65,2\text{км}^2 = 13,0,$$

орієнтовна площа зелених насаджень м. Херсона:

$$s_{\text{зн}} = s_{\text{зн Київ}}/k_{\text{пр}} = 16,8\text{км}^2/13 = 1,29\text{км}^2 = 1290\text{га}.$$

Враховуючи наведену вище середню кількість дерев на гектарі зелених насаджень – 260 шт. вирахуємо приблизну кількість дерев у Херсоні:

$$n_{\text{дер}} = 1290*260 = 336000 \approx 300\text{ тис. дерев.}$$

Тоді, виходячи з середньої маси листви одного дерева 25 кг, можливий обсяг листяної біомаси у м. Херсоні

$$m_{л} = 300\,000 * 25 = 7\,500\,000 \text{ кг} = 7,5 \text{ тис.т.}$$

Якщо буде зібрана і перероблена навіть лише половина всього обсягу опалого листя, то фактичний, доступний для переробки обсяг листяної біомаси може бути оцінений:

$$m_{лф} = 7,5 * 0,5 = 3,75 \text{ тис.т.}$$

Для визначення найбільш доцільного та ефективного методу переробки опалого листя проведено порівняльне дослідження трьох, на наш погляд, найбільш привабливих сучасних технологій переробки подібних відходів, а саме:

1. Виробництво паливних брикетів та їх подальше спалення.
2. Спалення листяної маси у піролізних котлах.
3. Виробництво біогазу за допомогою технології бродіння у біогазових генераторах.

В основі технології виробництва паливних брикетів лежить процес пресування відходів і дрібно подрібнених відходів деревини (тирси) під високим тиском (при нагріванні або без нього). В альтернативні паливні брикети можна перетворювати будь-яке сміття з використанням лише одного компоненту: тирсу, кору дерев, очерет, соломку, сіно, опале листя, відходи кукурудзи, і соняшнику. У складі брикетів відсутній клей або інші сполучні елементи. Міцність і форму брикет набирає за рахунок сильного пресування і максимальної сушки. Іноді додають один екологічно чистий в'язучий компонент, для поліпшення якості продукту. Є три головні форми паливних брикетів: піні-кей, руф і нестро. Їх відмінність в максимальній щільності, якої можна досягти в кожній з форм [7].

Для всіх видів сировини оптимальна вологість повинна становити 8%. Діапазон вологості для успішного пресування становить 5-12%. При вологості до 15% брикет пресується, але його якість погіршується до нетоварного вигляду, а процес можливий тільки при мінімальній його продуктивності. При вологості менше 5% процес формування брикету ускладнюється. Для поліпшення якості брикету додають тирсу. Паливні брикети, отримані з рослинної сировини, є екологічно чистим продуктом. Сполучною речовиною є натуральний «живий» лігнін. Після термічної обробки сировини в процесі виробництва брикети не піддаються впливу грибків. У порівнянні з природними дровами - брикети через більшу щільність довше горять. Тому підкладати в піч (котел) брикети - можна рідше в 2-4 рази. Вміст золи після згоряння брикетів в межах 1-3%. Для порівняння: вміст золи після згоряння кам'яного вугілля: 30-40%, згоряння природних дров: 8 -16%, деревної тріски: 11 - 18% [7]. При цьому золу можна використовувати як екологічно чисте добриво. Паливні брикети мають високу теплотворність - в середньому в 2 рази більше тепла, в порівнянні зі звичайними дровами. Їх теплотворна здатність порівняна з теплотворністю кам'яного вугілля і складає 14,51 МДж/кг (14510 МДж/т).

Але, як показали проведені нами розрахунки для виробництва 1 тонни паливних брикетів, які мають вологість 8% необхідно переробити 2,3 тонни листяної маси, якщо її вологість 60%. При цьому з неї необхідно буде видалити 1,3 тонни вологи. Таким чином теоретична паливна ефективність 1 тонни листяної маси (без урахування витрат енергії на сушіння і виробництво брикетів (подрібнення маси, пресування) становитиме 6309 МДж/т, якщо ж врахувати витрати енергії на штучне випаровування 1,3 тонни вологи - 2933 МДж, отримаємо значення паливної ефективності при переробці на паливні брикети лише 3376 МДж на тонну листяної маси. Наведені міркування не дозволяють рекомендувати цей метод для вирішення поставленої задачі.

Піроліз - процес розпаду органічних речовин під дією високих температур. Для того щоб термічний розпад не перетворився на звичайне спалювання, до матеріалу, який піддається піролізу, штучно обмежують доступ кисню. Піролізний котел містить камеру первинного спалювання або піролізну камеру, схожу на топку звичайної печі. Тверде паливо (дрова, тирса, деревні або торф'яні брикети, пелетні гранули) поміщається на колосник, що забезпечує приплив до палива первинного повітря. Після виходу котла на режим доступ первинного повітря значно обмежують, в результаті чого горіння практично припиняється. Продовжує горіти тільки частина палива. Виділеного їм тепла вистачає для розкладання решти палива з виділенням піролізного газу - суміші летючих органічних речовин. Піролізний газ примусово, рідше самопливом потрапляє у вторинну камеру - камеру згоряння або камеру допалювання, в яку здійснюється подача достатньої кількості вторинного повітря. Від контакту з киснем нагрітий (понад 300 градусів Цельсія) газ горить з виділенням великої кількості тепла.

Піролізні твердопаливні котли тривалого горіння, як правило, ефективніше звичайних. Однак суттєвою вимогою до палива для піролізних котлів є низька вологість (до 8-10%), що не дозволяє безпосередньо використовувати технологію піролізного спалення для листяної маси, а потребує попереднього висушування, яке є складним і дуже енерговитратним процесом. Крім того централізоване спалення листяної маси потребує вирішення комплексу задач щодо інтеграції відповідного обладнання, яке буде завантажене протягом лише нетривалого періоду, у існуючу систему теплопостачання для ефективного використання отриманої теплової енергії та передачі її споживачам. Вказані обставини не дозволяють рекомендувати цей метод для вирішення поставленої задачі.

Біогаз – газ, який утворюється при мікробіологічному розкладанні біомаси чи біовідходів (розкладання біомаси відбувається під впливом трьох видів бактерій), твердих і рідких органічних відходів: на звалищах, болотах, каналізації, тощо. Добувають із відходів тваринництва, харчової промисловості, стічних вод, твердих побутових відходів, зі спеціально вирощених енергетичних культур, наприклад, силосної кукурудзи, водоростей. Склад біогазу нестабільний і залежить від багатьох факторів, здебільшого це: 55-75% метану, 25-45 % вуглекислого газу, незначні домішки водню і сірководню, азоту, ароматичних вуглеводнів, галогено-ароматичних вуглеводнів. Його теплота згоряння складає від 21 до 27,2 МДж/м³. При переробці 1 т трави, листя, силосу можна отримати від 200 до 400 м³ біогазу (табл. 1). По теплоті згоряння 1 м³ біогазу еквівалентний 0,8 м³ природного газу, 0,7 кг мазуту або 0,6 кг бензину [6].

Загальними перевагами технології переробки органічних відходів шляхом виробництва біогазу є такі:

- крім газу на виході з сухого залишку переробленої сировини отримують високоякісні біогумусні добрива, що запобігають ерозії ґрунту і збагачують родючий шар;
- економічні вигоди такого процесу полягають в ефективній і екологічній переробці відходів, з отриманням на виході корисних в господарстві речовин;
- практично не виснажується сировинна база, завдяки «всеїдності» біогазова установка може ефективно використовуватися у великих містах, як додаткове джерело енергії в комбінованих екологічно чистих системах з видобутку поновлюваних видів енергії [8].

Таблиця 1

Вихід біогазу для різних типів сировини [6]

Тип сировини	Вихід газу, м ³ на тонну сировини
Гній коров'ячий	38-52
Гній свинний	52-88
Послід пташиний	47-94
Відходи бійні	250-500
Жир	1300
Зерно	400-500
Трава, бадилля, силос, водорості	200-400
Гліцерин технічний	400-600
Дробина пивна	130-150

Добовий вихід біогазу залежить від типу сировини (табл. 1) і добової порції завантаження. Для роботи побутових газових кухонних та опалювальних приладів в якості сировини цілком придатний «натуральний» біогаз, без будь-якого очищення. У Швеції, Фінляндії та Австрії біогазом забезпечується до 20 % всього внутрішнього споживання [6].

За розрахунками, при виході біогазу з 1 тонни листяної маси – 300 м³ з середньою теплотворною здатністю 24 МДж/м³ отримувана питома енергоефективність 1 тонни опалого листя при переробці у біогаз складе 7200 МДж/т, що більше ніж у попередньо розглянутих методів.

Тому найбільш ефективним та екологічно безпечним методом утилізації листяної біомаси нами визначений метод бродіння з виробництвом біогазу, який забезпечить отримання близько $v=300$ м³ біогазу з кожної тонни листяної біомаси.

Проведемо розрахунки можливих обсягів отриманої енергії за такою технологією при переробці листя, що може бути зібране в м. Херсоні.

Враховуючи визначений вище доступний обсяг листяної біомаси $m_{лф} = 3750$ т., отримуваний об'єм біогазу при продуктивності $v=300$ м³ біогазу з кожної тонни листяної біомаси складе:

$$V_{біогаз} = m_{лф} * v = 3750 * 300 = 1125000 \text{ м}^3 = 1,125 \text{ млн. м}^3.$$

Виходячи з теплотворних здатностей природного газу $q_{пг} = 33,5$ МДж/м³ та біогазу 21-27 МДж/м³ (прийемо середнє значення $q_{біогаз} = 24$ МДж/м³), перерахуємо отриманий обсяг біогазу у рівний по теплотворній здатності обсяг природного газу:

$$V_{пг.л} = V_{біогаз} * q_{біогаз} / q_{пг} = 1,125 * 24 / 33,5 = 0,806 \text{ млн. м}^3,$$

що відповідає кількості енергії

$$Q = V_{пг.л} * q_{пг} = 0,806 * 10^6 * 33,5 \approx 27 \text{ ТДж} = 7500 \text{ МВт*год} = 7,5 \text{ ГВт*год}.$$

За даними зі зведеного енергетичного балансу м. Херсона [9, с.8] річне споживання природного газу житловим фондом у 2013 р. у натуральному вираженні склало 124997,9 тис. м³. Враховуючи, що чисельність населення міста на 01.01.2013р. становила 324256 осіб, середньорічне споживання природного газу на 1 особу в місті:

$$v_1 = V_{пг} / N = 124997,9 / 324256 = 0,385 \text{ тис. м}^3/\text{рік} = 385 \text{ м}^3/\text{рік}.$$

Таким чином, отримуваний обсяг біогазу здатний забезпечити щорічну потребу у природному газі $n = V_{\text{пг.л}} / v_1 = 806000/385 = 2091$ жителя міста.

Порівнюючи також прогнозоване значення обсягу біогазу, що може бути отриманий з листя у перерахуванні на природний газ $V_{\text{пг.л}} = 806$ тис.м³ з річною потребою природного газу на опалення будівель бюджетної сфери міста за даними 2013р. $V_{\text{пг.б}} = 7323,2$ тис.м³ [9, с.8], робимо висновок, що запропоновані заходи по утилізації листяної біомаси шляхом бродіння з виробництвом біогазу здатні забезпечити 11,0% потреби будівель бюджетної сфери міста Херсона у природному газі.

Висновки

Проблема прибирання опалого листя у містах та селах може бути ефективно вирішена корисним використанням його як джерела енергії.

Щорічні обсяги ресурсної бази по листяній біомасі для м. Херсона, які можуть бути використані для виробництва енергії оцінюються у 3,75 тис.тонн.

На основі проведеного порівняльного дослідження сучасних технологій переробки подібних відходів визначений найбільш ефективний метод утилізації листяної біомаси - бродіння з виробництвом біогазу.

Виходячи з розрахованого доступного обсягу листяної біомаси, отримуваний об'єм біогазу складе 1,125 млн.м³, що по теплотворній здатності відповідає 0,806 млн.м³ природного газу та кількості енергії $\approx 7,5$ ГВт*год.

Запропоновані заходи по утилізації листяної біомаси шляхом бродіння з виробництвом біогазу здатні забезпечити 11% річної потреби будівель бюджетної сфери міста Херсона у природному газі.

Список використаної літератури

1. Renewables Information. IEA, 2010; Eurostat. Режим доступу: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu>
2. Solid Biomass Barometer, 2010; EU energy and transport in figures, 2010; AEBIOM Annual Statistical Report, 2011.
3. Renewables Information. IEA 2010; Europe in figures – Eurostat Yearbook 2010:
4. Куфтов А.Ф., Кузьмина Ю.С. Перспективы применения твердых топлив из биомассы // Электронное научно-техническое издание «Наука и образование». -2011. - № 8. С. 1-6.
5. Сайт біобрикет [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.biobriquette.com/news/brikety-iz-opavshix-listev-25.html>.
6. Гелетуха Г.Г., Кучерук П.П., Матвеев Ю.Б. Перспективы производства и использования биогаза в Украине. Аналитическая записка БАУ №4. – 2013. С.3
7. Галяветдинов Г.Р. Технология получения древесных топливных гранул с повышенной энергетической эффективностью. // Вестник КГТУ, - 2010. - №9. - С.214-215.
8. Производственная и энергетическая эффективность использования биогазовой установки // Научный журнал КубГАУ. - 2012. - №7(02). - С. 1-2.
9. План дій сталого енергетичного розвитку м. Херсона на 2015-2030 рр. – Херсон: Екологічні системи, 2015. – 110с.