

Осьмак О.О., Серьогін О.О., докт. техн. наук

Національний університет харчових технологій, Київ

вул. Володимирська, 68, 01033 Київ, Україна, e-mail: seryoginoo@ukr.net

Альтернативні види палива – перспективний напрям розвитку енергетичного комплексу України

Обґрунтовано перспективу переробки рослинної біомаси з метою залучення її до паливного балансу країни. Наведено результати досліджень паливних характеристик найбільш розповсюджених відновлювальних джерел енергії України: відходів деревини та сільськогосподарських виробництв. З метою визначення горючості проведено аналіз хімічного складу відходів деревини та лушпиння соняшника. Представлено розрахунки ефективної теплопровідності лушпиння соняшника та відходів деревини (стружка) у залежності від пористості, температури та вмісту вологи. Підтверджено доцільність використання рослинної біомаси як палива у регіонах, позбавлених централізованого енергопостачання та доступних ресурсів викопного палива, та на підприємствах з переробки деревини й сільськогосподарської продукції (деревобробні й целюлозно-паперові комбінати, заводи з виробництва соняшникової олії тощо), де утворюється велика кількість відходів переробки рослинної сировини. *Бібл. 10, рис. 1, табл. 5.*

Ключові слова: рослинна біомаса, відходи деревини, лушпиння соняшника, відновлювальні джерела енергії.

В останні роки на фоні стрімкого розвитку енергетичної кризи у всьому світі все більш актуальним стає залучення до паливного балансу економічно привабливих альтернативних та відновлювальних джерел енергії. Розвиток відновлювальної енергетики має величезне значення з огляду на подальшу долю людства, оскільки горючі корисні копалини, що є основою виробництва енергії на початку XXI ст., мають обмежені запаси, які рано чи пізно будуть вичерпані. Тому розроблення енергетичної концепції щодо встановлення балансу між виробництвом та споживанням доступних енергоносіїв – єдиний вірний шлях економічного розвитку кожної держави.

Щорічно приріст біомаси у світі оцінюється у 200 млрд т у перерахунку на суху речовину, що енергетично еквівалентно 80 млрд т нафти. Біомаса – це четверте за значенням паливо у світі, яке забезпечує близько 2 млрд т / рік (або 14 %) загального споживання первинних енергоносіїв. Аналіз енергетичних балансів зарубіжних країн свідчить, що частка відновлювальних джерел енергії у первинному енергоспоживанні країн Європейського Союзу та України становить, %: у Латвії – 40,03; у Швеції – 29,63; у Фінляндії

– 22,94; у Данії – 13,86; у Португалії – 12,82; у Франції – 6,03; в Україні – 1,7 [1, 2].

З огляду на сказане вище, значним ресурсом для енергетики є залучення до паливного балансу країни використання хімічної енергії біомас.

У розвинених країнах впровадження енергетичних технологій, що базуються на рослинній біомасі, відбувається у рамках законодавчої, економічної та організаційної підтримки держави. Наприклад, департаменти енергетики спільно із сільським господарством США здійснюють спільну програму з демонстрації енергетичних установок на біомасі [2].

Світовий досвід свідчить, що високий рівень енергозалежності не перешкоджає надійному та сталому забезпеченню енергетичних потреб та ефективному розвитку національної економіки. Проблемними питаннями забезпечення енергетичної безпеки залишаються висока залежність України від джерел імпорту енергоносіїв, що не дає можливості підвищити рівень інтегрального показника енергетичної безпеки та наблизити його до оптимального значення.

Україна має не лише нагальну потребу у переході до енергетично ефективних та екологічно

чистих технологій, а відповідний потенціал альтернативної енергетики.

Враховуючи світовий досвід використання сучасних енергетичних технологій, науковці України все більш уваги приділяють залученню альтернативних відновлювальних видів палива до енергетичного балансу держави. Основними складовими потенціалу серед альтернативних джерел енергії в Україні є відходи деревини та сільськогосподарських виробництв й енергетичні культури. При залученні цього потенціалу до виробництва енергії можна задовольнити близько 13 % потреб України у первинній енергії [3–5].

Згідно з експертними оцінками, щорічний теоретичний потенціал біомаси становить близько 45 млн т умовного палива (у.п.), технічно досяжний – 32 млн т у.п., економічно доцільний – 24 млн т у.п. (табл.1) [5].

Таблиця 1. Потенціал енергетичної біомаси в АПК України

Вид біомаси	Енергетичний потенціал, млн т у.п. на рік		
	теоретичний	технічний	економічний
Солома зернових культур	10,39	5,21	1,34
Солома ріпаку	1,65	1,15	1,15
Відходи кукурудзи й сояшника (стебла, листя, лушпиння тощо)	9,97	6,85	5,65
Сировина для дизельного біопалива (ріпак, сояшник, соя тощо)	0,78	0,50	0,25
Сировина для біоетанол (зерно, меляса тощо)	2,33	2,33	0,86
Сировина для біогазу (силос кукурудзи, гній тваринницьких ферм, харчові відходи тощо)	5,63	4,02	2,13
Енергетичні культури	14,58	12,39	12,39
Всього	45,33	32,45	23,77

Серед сільськогосподарських відходів найбільший економічний потенціал мають відходи виробництва сояшника (лушпиння, стебла), дещо менший – відходи виробництва кукурудзи (стебла, листя). Солома зернових культур та солома ріпаку посідають третє та четверте місця відповідно.

Однією з найбільш перспективних технологій отримання енергії, що набула широкого розвитку, є процес термічного перетворення рослинної біомаси. Перехід на використання твердого низькокалорійного палива – досить складна проблема, яка потребує застосування принципово нових технологій, що мають забезпечувати сучасні екологічні вимоги, бути більш економічними та менш чутливими до якості палива, яке використовується [6–8].

Основні паливно-технологічні характеристики рослинної біомаси, що використовується, як паливо, мають ряд особливостей, які відрізняють її від традиційних енергоресурсів. Так, аналіз паливних властивостей залишків деревини показує їх значну схожість та незалежність від роду деревини й місця зростання. На відміну від деревини теплотехнічні характеристики сільськогосподарських відходів значно різняться в основному за рахунок суттєвих коливань зольності та складу мінеральної частини.

На паливні характеристики рослинної біомаси значний вплив чинять умови транспортування та зберігання. Наприклад, досвід показує, що відходи переробки деревини, які мають у момент утворення вологість W_p близько 40 %, після року зберігання можуть збільшити свою вологість до 68–70 % [9, 10].

Вибір шляхів переробки рослинної біомаси пов'язують з властивостями біомаси, технологічними можливостями її переробки у різних конкретних умовах.

Одним із перспективних видів рослинної біомаси для утворення генераторного газу є лушпиння сояшника. На масложирових комбінатах, що здійснюють первинну обробку плодів сояшника утворюється значна кількість лушпиння, яке, як правило, не піддається утилізації з отриманням додаткового прибутку.

У даній статті розглянута доцільність утилізації лушпиння сояшника методом газифікації з отриманням генераторного газу та подальшим виробництвом тепла та електроенергії за допомогою когенератора.

Дослідження проводилися з групою основних видів рослинної біомаси, а саме: деревні відходи (щепа), сільськогосподарські відходи (лушпиння сояшника).

Аналіз хімічного складу лушпиння сояшника, виконаний на предмет визначення горючості, говорить про спорідненість його складу із паливом рослинного походження – деревиною

(табл.2). Враховуючи цю властивість, доцільно газифікувати лушпиння соняшника з метою отримання генераторного газу та мінерального залишку у вигляді золи.

Таблиця 2. Хімічний склад рослинної біомаси

Показник	Лушпиння соняшника	Відходи деревини (сосна)
Склад палива, % (мас.):		
Cdt	50,92	50,2
Hdt	6,31	6,0
Od	33,2	43,4
Sdt	0,17	–
Nd	1,12	0,4
Wrt	4,66	20,0
Ad	3,62	1,2
Теплотворна здатність, кДж/кг (ккал/кг)	6450 (1543)	4710 (1125)

Відходи мають близький елементний склад за вмістом вуглецю (близько 50 %) та кисню (42 %). Низький вміст сірки та помірний вміст азоту свідчать про те, що викиди оксидів сірки та азоту за будь-якою технологією спалювання навряд чи перевищать 600 мг/м³. Вказані сільськогосподарські відходи є високореакційним паливом з великим (близько 80 %) виходом летких.

Розроблені до теперішнього часу різні процеси утилізації відходів характерні тим, що використовують технології, які базуються на процесах без зміни агрегатного стану основних компонентів [7]. У зв'язку з цим вважається перспективним отримання економічного та екологічного ефектів від використання технологій, заснованих на зміні агрегатного стану речовин відходів, тобто з їх переведенням із твердого у рідкий або газоподібний стан. Рішення цієї задачі значно спрощується тим, що у лушпинні соняшника присутній вуглець, який можна перетворити на горючий генераторний газ, завдяки чому створюється дешева енергетична база для технологій, що використовують зміну агрегатного стану початкових продуктів.

З урахуванням накопиченого досвіду, технічних та економічних можливостей найбільш доцільним є застосування термохімічних процесів газифікації в апаратах, що іменуються газогенераторами [7, 8]. У процесі газифікації вуглець, що міститься у лушпинні соняшника, переходить із твердого агрегатного стану у газоподібний в основному у вигляді монооксиду й діоксиду вуглецю при одночасному утворенні водню та метану.

Дуже важливо те, що газифікація проходить з виділенням тепла, кількість якого достатня для розігріву всієї маси сировини та здійснення цілого ряду технологічних процесів.

Середні значення результатів експериментальних досліджень термічного перетворення генераторного газу з лушпиння соняшника та відходів деревини наведені у табл.3. Генераторний газ отриманий при газифікації сировини на дослідно-промисловій установці ГЕКА-3; аналіз хімічного складу виконаний у хімічній лабораторії АК «САТЕР».

Таблиця 3. Склад генераторного газу з лушпиння соняшника та відходів деревини

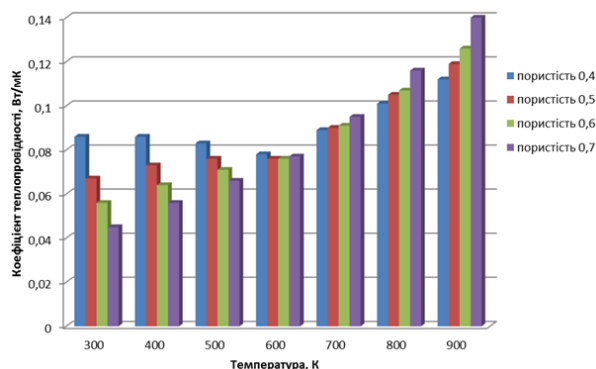
Показник	Вміст у генераторному газі, % (мас.)	
	з лушпиння соняшника	з відходів деревини (сосна)
Вихід генераторного газу, м ³ /кг	2,21	2,4
Теплотворна здатність, кДж/м ³ (ккал/м ³):	6117 (1460)	4710 (1125)
CO ₂	12,1	11,0
O ₂	0,3	0,4
CO	16,0	13,6
H ₂	16,9	17,6
CH ₄	6,3	3,0
N ₂	48,4	54,4
Разом	100,0	100,0

Важливою характеристикою рослинної біомаси, що використовується як тверде біопаливо, є її газова проникність. Експерименти проводилися на лушпинні соняшника та відходах деревини (стружка) при різній висоті засипки та вологості 10 й 75 %. Узагальнені результати експериментів наведені у табл.4.

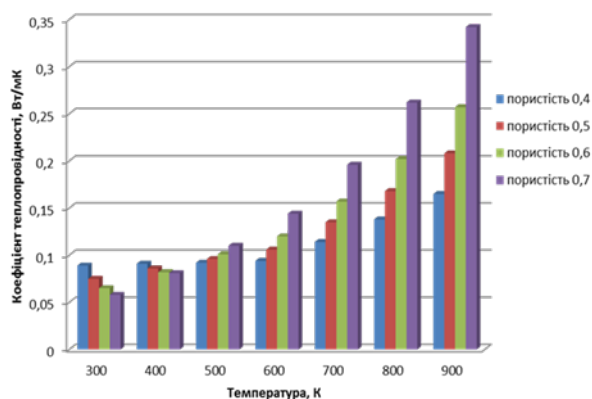
Таблиця 4. Газова проникність (К) рослинної біомаси при вільній засипці

Показник	Лушпиння соняшника		Відходи деревини (стружка)	
Вологість, %	10	75	10	75
К, м ²	10,6·10 ⁻⁹	9,1·10 ⁻⁹	5,8·10 ⁻⁹	5,6·10 ⁻⁹

Були проведені розрахунки ефективної теплопровідності засипок з лушпиння соняшника та відходів деревини (стружка) у залежності від пористості, температури та вмісту вологи. Результати розрахунків представлені на рис.1.



а



б

Теплопровідність лушпиння соняшника (а) та відходів деревини (б).

Узагальнюючи отримані результати, можна зробити висновок про те, що теплопровідність лушпиння соняшника при пористості 0,4 та підвищенні температури до 600 К практично не змінюється, навіть спостерігається деяке її зменшення. Надалі, при підвищенні температури за сипки вище 600 К, спостерігається тенденція до збільшення теплопровідності лушпиння соняшника.

При збільшенні пористості структури теплопровідність лушпиння соняшника збільшується та зростає в усьому діапазоні температур. Залежність теплопровідності відходів деревини має зростаючий характер та залежить від температури у всьому дослідженому діапазоні. Це пов'язано з тим, що розмір частинок відходів деревини на порядок вищий та промениста складова теплопровідності надає переважаючий вплив з більш низьких температур.

Одним із побічних продуктів процесу термохімічної конверсії лушпиння соняшника є зола.

Зола — це складна, різномісна речовина, що складається з декількох класів мінеральних домішок. Відомо, в органічній масі будь-яких рослин містяться елементи, що входять до складу ферментів клітин: марганець, кобальт, молібден тощо. При термічній обробці лушпиння соняшника утворюються тверді й газоподібні продукти.

Хімічний склад золи лушпиння соняшника, отриманої при газифікації, можна характеризувати концентраціями, наведеними у табл.5.

Таблиця 5. Хімічний склад золи лушпиння соняшника й деревини

Оксид	Вміст у золі деревини, % (мас.)	Вміст у лушпинні соняшника, % (мас.)
SiO ₂	5,0	5,2
Al ₂ O ₃	7,5	1,45
Fe ₂ O ₃	4,0	1,9
CaO	46,9	14,2
MgO	8,0	9,7
P ₂ O ₅	6,0	19,4
K ₂ O	—	32,15
Na ₂ O	18,0	0,3

Висновки

Підтверджено доцільність використання рослинної біомаси як палива у регіонах, позбавлених централізованого енергопостачання та доступних ресурсів викопного палива, та на підприємствах з переробки деревини й сільськогосподарської продукції (деревообробні й целюлозно-паперові комбінати, олієекстракційні заводи тощо), де утворюється велика кількість відходів переробки рослинної сировини.

Залучення у паливний баланс країни рослинної біомаси дасть можливість істотно знизити потребу в традиційних видах палива (нафта, природний газ, мазут, вугілля тощо) та одночасно вирішити екологічні завдання, пов'язані з утилізацією та накопиченням органічних відходів.

Проведені дослідження підтверджують необхідність детального врахування характеристик твердої біомаси при створенні обладнання для її використання як основного палива.

Список літератури

1. Каныгин П. Альтернативная энергетика в ЕС: возможности и пределы. *Экономист*. 2010. № 1. С. 49–57.
2. Перспективы мировой энергетики : WEO 2009. *Проблемы окружающей среды и природных ресурсов*. 2010. № 6. С. 71–85.

3. Гелетуха Г.Г., Железная Т.А., Жовмир Н.М., Матвеев Ю.Б. Современное состояние и перспективы развития биоэнергетики в Украине. *Промышленная теплотехника*. 2005. Т. 27, № 1. С. 78–85.
4. Калетник Г.М. Біопаливна галузь і енергетична та продовольча безпека України. *Вісник аграрної науки*. 2009. № 8. С. 62–64.
5. Мхитарян Н.М., Кудря С.А., Резцов В.Ф., Суржик Т.В., Яценко Л.В. Потенциал и перспективы использования возобновляемых источников энергии в Украине. *Альтернативная энергетика и экология*. 2011. № 8. С. 150–163.
6. Dubrovin V., Melnychuk M. Agricultural & environmental engineering for Bioenergy Production. *Proceedings of the 33th CIOSTA & 5th Cigr Conference*. Reggio Calabria. 2009. Vol. 2. P. 1121–1123.
7. Волостнов Б.И., Поляков В.В., Косарев В.И. Энергосберегающие технологии и проблемы их реализации. *Информационные ресурсы России*. 2010. № 3. С. 12–16.
8. Абрамов С.М., Садраддинова С.М., Шестаков А.И. Превращение органических отходов сельского хозяйства в топливо для альтернативной энергетики. *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2010. № 1. С. 8–11.
9. Богданович В.П., Шевченко Н.В. Перспективы использования альтернативного топлива в сельском хозяйстве. *Техника в сельском хозяйстве*. 2012. № 5. С. 38–40.
10. Желих В.М., Возняк О.Т., Юркевич Ю.С. Нетрадиційні джерела енергії. Львів : Вид-во НУ «Львівська політехніка», 2009. 83 с.

Надійшла до редакції 25.10.20

Осьмак А.А., Серёгин А.А., докт. техн. наук
Национальный университет пищевых технологий, Киев
ул. Владимирська, 68, 01033 Киев, Украина, e-mail: seryoginoo@ukr.net

Альтернативные виды топлива – перспективное направление развития энергетического комплекса Украины

Обоснована перспектива переработки растительной биомассы с целью привлечения ее к топливному балансу страны. Приведены результаты исследований топливных характеристик наиболее распространенных возобновляемых источников энергии Украины: отходов древесины и сельскохозяйственных производств. С целью определения горючести проведен анализ химического состава отходов древесины и шелухи подсолнечника. Представлены расчёты эффективной теплопроводности шелухи подсолнечника и отходов древесины (стружка) в зависимости от пористости, температуры и содержания влаги. Подтверждена целесообразность использования растительной биомассы как топлива в регионах, лишенных централизованного энергоснабжения и доступных ресурсов ископаемого топлива. Указанное относится и к предприятиям по переработке древесины и сельскохозяйственной продукции (деревобработывающие и целлюлозно-бумажные комбинаты, заводы по производству подсолнечного масла и т.п.), где образуется большое количество отходов переработки растительного сырья. *Библ. 10, рис. 1, табл. 5.*

Ключевые слова: растительная биомасса, отходы древесины, шелуха подсолнечника, возобновляемые источники энергии.

Osmak A.A., Seregin A.A., Doctor of Technical Sciences
National University of Food Technologies National University of Food Technologies, Kiev
68, Volodymyrska, 01033 Kiev, Ukraine, e-mail: seryoginoo@ukr.net

Alternative fuels – a promising direction for the energy complex of Ukraine

The perspectives of processing biomass to raise it to the country's energy mix. The results of studies of fuel characteristics most commonly used renewable energy in Ukraine: wood waste and agricultural industries. In order to determine the flammability of the analysis of the chemical composition of the waste wood and sunflower husk. Presents estimates of effective thermal conductivity sunflower husks and wood waste (chips) depending on porosity, temperature and moisture content. The expediency of using plant biomass as a fuel in regions without centralized energy supply and available fossil fuel resources has been confirmed. This also applies to enterprises for the processing of wood and agricultural products (woodworking and pulp and paper mills, factories for the production of sunflower oil, etc.), where a large amount of waste from the processing of vegetable raw materials is generated. *Bibl. 10, Fig. 1, Tab. 5.*

Keywords: plant biomass, waste wood, sunflower husks, renewable energy.

References

1. Kanugin P. [Alternative energy in the EU; opportunities and limits]. *Economist*. 2010. No. 1. pp. 49–57. (Rus.)
2. [Prospects for world energy: WEO 2009] *Problemy okruzhajushhej sredy i prirodnyh resursov*. [Prospects of the environment and natural resources]. 2010. No. 6. pp. 71–85. (Rus.)
3. Geletuha G.G., Jeleznaya T.A., Jovmir N.M., Matveyev Y.B. [Current state and prospects of bioenergy development in Ukraine]. *Promishlennaya teplotekhnika*. 2005. 27 (1). pp. 78–85. (Rus.)
4. Kaletnick G.M. [Biofuel industry and energy and food security in Ukraine]. *Visnik agrarnoyi nauki*. 2009. No. 8. pp. 62–64. (Ukr.)
5. Mhitarian N.M., Kydria S.A., Reszov V.F., Syrjik T.V., Yatzenko L.V. [Potential and prospects for the use of renewable energy sources in Ukraine]. *Alternativnaya energetika I ekologiya*. 2011. No. 8. pp. 150–163. (Rus.)
6. V. Dubrovin, M. Melnychuk. Agricultural & environmental engineering for Bioenergy Production. *Proceedings of the 33th CIOSTA & 5th CIGR Conference*. Reggio Calabria. 2009. Vol. 2. pp. 1121–1123.
7. Volostnov B.I., Poliakov V.V., Kosarev V.I. [Energy-saving technologies and problems of their implementation]. *Informatsionnie resursi Rossii*. 2010. No. 3. pp. 12–16. (Rus.)
8. Abramov S.M., Sadraddinova S.M., Shestakov A.I. [Conversion of organic waste into fuel for alternative energy]. *Hraneniye i pererabotka selhozsiria* 2010. No. 1. pp. 8–11. (Rus.)
9. Bogdanovich V.P., Shevchenko N.V. [Prospects for the use of alternative fuels in agriculture]. *Tehnika v selskom hoziystve*. 2012. No. 5. pp. 38–40. (Rus.)
10. Jelih V.M., Vozniak O.T., Yurkevich Yu.S. [Unconventional energy sources]. Lviv : Publishing house NU “Lviv Politechnic”. 2009. 83 p. (Ukr.)

Received October 25, 2020