
Нові рішення у сучасній техніці та технологіях

УДК 361.353.3

DOI: 10.31471/1993-9868-2019-2(32)-70-78

ПЕРСПЕКТИВИ ВИРОБНИЦТВА ТВЕРДОГО БІОПАЛИВА В УКРАЇНІ

М. В. Панчук, І. М. Сем'яник, І. О. Мандрик

*ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (0342) 506612,
e-mail: ztk@nimg.edu.ua*

Запаси викопних паливних ресурсів в Україні обмежені, тому використання твердого біопалива з відновлювальної сировини є одним з найважливіших чинників енергетичної політики держави, спрямованої на збереження традиційних паливо-енергетичних ресурсів та покращення стану навколишнього середовища. Проведено аналіз біологічних ресурсів та встановлено, що Україна має достатній потенціал, доступний для виробництва енергії, що складає близько 29 млн. тон умовного палива. Важливим ресурсом за цього є енергетичні культури. Показано, що сира біомаса має ряд недоліків: низьку енергетичну щільність, нестабільність гранулометричного складу, широкий розкид за вмістом вологи і низьку насипну щільність, що є головними проблемами при її зберіганні і транспортуванні. Для підвищення споживчих властивостей біомаси запропоновано використовувати процес гранулювання. Впровадження процесу гранулювання дозволить усунути недоліки біологічної сировини та перетворити її на високоефективне паливо. Однією з найважливіших умов ефективного та прибуткового функціонування виробництва гранульованої біомаси є наявність та регулярне постачання сировини. За цього перспективним для умов України може бути як використання комплектів обладнання великої потужності для експлуатації в місцях з великою концентрацією сировини, так і невеликих мобільних установок, які можуть і працювати в стаціонарних умовах, і переміщуватися до місць з достатньою кількістю сировини, знижуючи затрати на транспортування біомаси до мінімуму. Водночас існує необхідність у розвитку нових вітчизняних розробок як комплексних технологічних ліній, так і окремих одиниць обладнання для різних потужностей. В роботі визначено основні напрямки використання продуктів грануляції, серед яких – спалювання в пелетних котлах, сумісне спалювання з вугіллям та газифікація гранульованої біомаси для отримання моторних палив. Так само відзначено, що використання технологій гранулювання вирішує не тільки енергетичні, а й комплекс інших проблем – екологічних, сільськогосподарських, лісотехнічних та соціальних.

Ключові слова: енергія біомаси, тверде біопаливо, енергетичні культури, грануляція, пелети, брикети, екологія.

Запасы ископаемых топливных ресурсов в Украине ограничены, поэтому использование твердого биотоплива из возобновляемого сырья является одним из важнейших факторов энергетической политики государства, направленной на сохранение традиционных топливно-энергетических ресурсов и улучшение состояния окружающей среды. Проведен анализ биологических ресурсов и установлено, что Украина имеет достаточный потенциал, доступный для производства энергии, который составляет около 29 млн. тонн условного топлива. Важным ресурсом при этом являются энергетические культуры. Показано, что сырая биомасса имеет ряд недостатков: низкую энергетическую плотность, нестабильность гранулометрического состава, широкий разброс по содержанию влаги и низкую насыпную плотность, что является главными проблемами при ее хранении и транспортировке. Для повышения потребительских свойств биомассы предложено использовать процесс гранулирования. Внедрение процесса гранулирования позволит устранить

недостатки биологического сырья и превратить его в высокоэффективное топливо. Одним из наиболее важных условий эффективного и прибыльного функционирования производства гранулированной биомассы является наличие и регулярные поставки сырья. При этом перспективным для условий Украины может быть как использование комплексов оборудования большой производительности в местах с большой концентрацией сырья, так и небольших мобильных установок, которые могут работать в стационарных условиях, а также перемещаться к местам с достаточным количеством сырья, снижая затраты на транспортировку биомассы к минимуму. Вместе с этим существует необходимость в развитии новых отечественных разработок, как комплексных технологических линий, так и отдельных единиц оборудования для разных объемов производства. В работе определены основные направления использования продуктов грануляции, среди которых – сжигание в пеллетных котлах, совместное сжигание с углем и газификация гранулированной биомассы для получения моторных топлив. Также отмечено, что использование технологий гранулирования решает не только энергетические а и комплекс других проблем – экологических, сельскохозяйственных, лесотехнических и социальных.

Ключевые слова: энергия биомассы, твердое топливо, энергетические культуры, грануляция, пеллеты, брикеты, экология.

The reserves of fossil fuel resources in Ukraine are limited, that is why the usage of solid biofuel from renewable raw materials is one of the most important factors of state energy policy directed at the preservation of traditional fuel and energy resources and improvement of the environment condition. The analysis of biological resources is made in this paper, and it is determined that Ukraine has a sufficient potential which is available for energy production and constitutes around 29 million tons of equivalent fuel. Energy crops are an important resource therewith. A potential yield of solid biofuel from perennial energy crops can constitute approximately 35.8 million tons per year. It is shown that raw biomass has a number of disadvantages: low energy density, unstable granulometry, wide spread of moisture content, and low bulk density which are the main problems for its storage and transportation. In order to increase consumer performance properties of biomass, the granulation process is suggested to be used. The implementation of granulation process will allow to eliminate the shortcomings of biological raw material and to transform it into a high-efficiency fuel. One of the most important conditions of effective and profitable functioning of granulated biomass production is the availability and regular supply of raw materials. Therewith, for Ukraine's conditions it is worthwhile to use sets of high-power equipment for its operation both in the places with high concentration of raw materials and small mobile units which can work in stationary conditions and move to the places with sufficient amount of raw materials decreasing the costs of biomass transportation to minimum. At the same time, there is a need in developing new homeland elaborations, both complex process lines and individual equipment units for different capacities. The paper determines the main directions of using granulation products among which are: combustion in pellet boilers, common combustion with coal, and gasification of granulated biomass for obtaining motor oils. It is mentioned that the application of granulation technologies solves not only the energy problems but also a set of other problems: ecological, agricultural, forestry and social ones.

Key words: biomass energy, solid biofuel, energy crops, granulation, pellets, briquettes, ecology.

Вступ

В галузі енергетики стрімке зростання цін на викопні види палив є домінуючою світовою тенденцією, тому в умовах сьогодення альтернативні та відновлювані джерела енергії виступають важливим критерієм сталого розвитку світової спільноти. Однією з найперспективніших складових відновлюваної енергетики виступає біоенергетика, яка заснована виключно на використанні енергії з біомаси – вуглецево-вміщуючих органічних речовин, рослинного і тваринного походження [1].

Сьогодні біомаса є четвертим за використанням енергетичним ресурсом у світовому масштабі, яке приблизно дає 2 млрд. тонн умовного палива енергії на рік, що становить близько 14% від загального споживання первинних енергоносіїв у світі. Щорічно на Землі в результаті протікання процесів фотосинтезу утворюється близько 120 млрд. тонн сухої органічної

речовини (біомаси), що еквівалентно понад 40 млрд. тонн сирової нафти [2].

Отримання енергії з біомаси набуло динамічного розвитку у багатьох країнах світу через те, що інтенсивне зростання ринку відновлюваних джерел енергії має не лише енергетичний, а й екологічний аспект [3,4]. Такий стратегічний напрям використання енергії відповідає умовам сталого розвитку планети та стабільного економічного існування суспільства.

Не залишається осторонь від даної проблеми і Україна, для якої технології виробництва та використання різних видів біопалив набувають важливого економічного значення. Запаси викопних паливних ресурсів в Україні обмежені, тому використання відновлюваних джерел енергії є одним з найважливіших чинників енергетичної політики України. Збільшення обсягів використання поновлюваних джерел енергії в енергетичному балансі країни

дозволяє підвищувати рівень диверсифікації джерел енергоносіїв, що сприятиме зміцненню енергетичної незалежності держави [5].

Наявність значних природних запасів відновлювальної сировини у вигляді рослинної біомаси створює передумови для розроблення технологій палив, альтернативних до викопних. Проте, низька енергетична щільність (8-14 МДж / кг), нестабільність гранулометричного складу, розміри частинок 10-100 мм), широкий розкид за вмістом вологи (25-60%) і низька насипна щільність (60-200 кг / м³) є головними проблемами при її зберіганні і транспортуванні.

Одним з способів підвищення споживчих властивостей біомаси може бути гранулювання, в результаті чого отримуються тверді паливні гранули – пелети.

Метою роботи є вивчення можливості ефективного перетворення низькоякісної біомаси в продукцію з високою енергетичною густиною і рівномірними фізичними та паливними властивостями. Для досягнення мети необхідно провести літературний огляд технологій та конструкцій обладнання для виготовлення палива з твердих рослинних відходів, наявної сировинної бази, а також визначити основні напрямки використання палива.

Аналіз сировини та види гранульованого біопалива

Біомаса – це одне з перших джерел енергії, що використовувалось людьми. Відповідно до Закону України «Про альтернативні види палива», біомаса – невикопна біологічно відновлювана речовина органічного походження, здатна до біологічного розкладу у вигляді продуктів, відходів та залишків лісового та сільськогосподарства (рослинництва і тваринництва), рибного господарства і технологічно пов'язаних з ними галузей промисловості, а також складова промислових або побутових відходів, здатна до біологічного розкладу [6]. В цьому ж законі дана класифікація біологічних видів палив: тверде, рідке та газоподібне паливо, виготовлене з біологічно відновлювальної сировини (біомаси), яке може використовуватися як паливо самостійно або як компонент інших видів палива.

За оцінками 2015 року [7] Україна має достатній потенціал для виробництва енергії – близько 29 млн. тон умовного палива (одиниця умовного палива складає – 7000 ккал/кг)

Основними складовими потенціалу біомаси в Україні є: солома, відходи виробництва кукурудзи на зерно і соняшника, які залиша-

ються на полях як побічні продукти після збору врожаю первинних сільськогосподарських культур; лушпиння соняшнику, рису; горіхова шкаралупа, відходи квасолевих бобів, які виробляються та нагромаджуються при обробці сільськогосподарських культур для виробництва харчових продуктів та корму; енергетичні культури. Загалом економічний потенціал відходів сільського господарства складає 12,2 млн. тон умовного палива на рік, а енергетичних культур – 10 млн. тон. [8].

Одним з найефективніших способів виробництва твердого біопалива є гранулювання, оскільки вологість готового продукту складає 8-12%, при цьому матеріал ущільнюється в 5-10 разів. Крім цього, гранульоване біопаливо володіє низкою інших переваг, серед яких варто відмітити стабільність характеристик якості, зручність зберігання, можливість використання в системах з автоматичною подачею палива [9].

Наявність та регулярне постачання сировини є однією з найважливіших умов ефективного та прибуткового функціонування пелетного виробництва. Багато великих деревообробних та меблевих підприємств почали самі використовувати відходи виробництва. Ці заводи сьогодні самостійно виробляють пелети, отримуючи високий додатковий прибуток, або спалюють відходи у власних модернізованих котельнях для отримання тепла та електроенергії, що дозволяє підприємствам відмовитися від високовартісного газу і підвищити свою енергоефективність. Виробники часто стикаються з проблемою відсутності сировини на близькій відстані від виробничих потужностей. Економічно обґрунтованим транспортним плечем для постачання сировини вважається відстань близько 50 кілометрів [10].

Виробництво пелет з різних видів біомаси істотно відрізняється за технологічними процесами, що пов'язано з хімічним складом сировини. Зазвичай до складу сировини входять горюча органічна маса, та баласт у вигляді вологи і мінеральних речовин, які після спалювання залишаються в золі. Горюча складова біомаси, що характеризує теплотворну здатність, містить вуглець, водень, кисень, азот та сірку, а мінеральні речовини вміщують карбонати, силікати, фосфати, сульфіді, сульфати та деякі інші хімічні сполуки різних елементів, які потрапляють у рослину з ґрунту. Варто відзначити, що баластні компоненти мають невеликий обсяг у хімічному складі біомаси. Одними з основних показників якості біомаси, що переходить на якість пелет з біомаси, є вологість, зольність та нижча теплота згоряння. Крім того,

Таблиця 1 – Порівняльна характеристика різних видів твердого біопалива [8, 11]

Характеристики	Дерево	Пелети деревні	Пелети з соломи	Пелети з лушпиння соняшнику
Волога, %	30 - 45	8 - 10	8 - 10	6 - 8
Нижча теплота згоряння, МДж/кг	9 - 12	17 - 17,5	15,5 - 16	18 - 18,5
Насипна густина, кг/м ³	240 - 300	550 - 680	550 - 600	630 - 650
Енергетична щільність, Гкал/м ³	0,58 - 0,73	2,2 - 2,26	1,85 - 2,2	2,4 - 2,8
Зольність, %	0,3 - 1	0,2 - 0,5	4 - 6,5	4 - 6,5
Біологічна деградація	Висока 8 - 10	Понижена	Понижена	Понижена
Гігроскопічність	Висока 20	Понижена	Понижена	Понижена
Вимоги до зберігання	Високі	Середні	Середні	Середні
Вартість транспортування	Висока	Помірна	Помірна	Помірна

Таблиця 2 – Використання біомаси для виробництва твердих біопалив [10]

Характеристики	Теоретичний потенціал, млн. т.у.п.	Економічний потенціал, млн. т.у.п.	Використання потенціалу, млн. т.у.п.	Частка використання від загального економічного потенціалу
Солома зернових та ріпаку	34,8	5,38	0,043	1
Деревна маса	4,2	2,13	1,71	80
Лушпиння соняшнику	6,9	0,82	0,34	41

досить важливим показником біомаси і твердого палива є вихід летких речовин та характеристика нелеткого залишку. Усі ці показники характерні для будь-якого виду біомаси та мають чітко визначений вплив на якість біомаси як сировини чи палива [8].

Завдяки своїм фізико-хімічним властивостям пелети з деревини сьогодні посідають перше місце за обсягом споживання у світі, вони добре горять та мають найменшу зольність (табл. 1).

Для виробництва деревних пелет використовується, в основному, відбракована деревина, що непридатна в процесах деревообробки, а також тріска і тирса – відходи процесів деревообробки. Тобто сировинне забезпечення виробництва пелет з деревини безпосередньо залежить від обсягів виробництва деревообробної галузі загалом. Варто зауважити, що на сьогодні в нашій державі біомаса з деревини зазвичай використовується для виробництва твердого палива (табл. 2).

На даний час Україна є одним з світових лідерів за посівами соняшнику та виробництва рослинної олії. Від часів набуття Україною незалежності (особливо впродовж останніх років) на території нашої держави створено велику кількість підприємств-переробників насіння на олію. Це змінило підходи до обробки та виро-

щування соняшнику і призвело до утворення великої кількості побічної продукції – відходів переробки насіння – лушпиння соняшнику, що залишається після технологічного процесу отримання рослинної олії. Спочатку лушпиння соняшнику використовували як паливо безпосередньо на підприємствах-виробниках рослинної олії, а згодом воно стало сировиною для виробництва пелет. Варто відзначити, що, зважаючи на фізико-хімічні властивості пелет з лушпиння соняшнику, для спалювання вони є більш складним паливом, ніж деревні пелети. Це спричинене високою зольністю та високим вмістом летких речовин, хоча нижча теплота згоряння у них більш висока. Водночас використання лушпиння соняшнику для виробництва пелет має значний потенціал для розвитку (табл. 2).

Зважаючи на значні за обсягом площі, що використовуються для вирощування соняшнику, значним ресурсом для виробництва твердого біопалива можна вважати стебла та кошики цієї рослини. Однак під час заготівлі та переробки таких видів біомаси стикаються з певними труднощами у ході технологічних процесів, які, однак, можна подолати вдосконаленням технічних засобів для енергетичного використання біомаси.

Таблиця 3 – Потенційний вихід твердого біопалива з багаторічних енергетичних культур [12]

Культура	Площа плантацій, млн. га	Щорічна урожайність сухої маси, т/га	Вихід твердого біопалива, млн. т/рік
Верба, тополя	1,5	15	24,8
Міскантус, свічграс	0,5	20	11,0
Разом	2	-	35,8

Ресурс соломи на сьогодні перевищує ресурс будь-яких інших видів біомаси в нашій країні, зважаючи на співвідношення маси зерна до маси стебел зернових культур. Проте наразі соломі зернових культур можна назвати стратегічним запасом, адже її використання як палива не набуло достатньої популярності та практичного спрямування, а рівень її використання складає менше 1 % від доступного економічного потенціалу (табл. 2).

З одного боку, це пояснюється більш традиційними способами її споживання: на корм худобі, або як добрива. З іншого, у виробників на сьогодні немає відповідної інформації про можливість застосування соломи як біопалива, а також у багатьох випадках відсутні можливості чи бажання вирішувати комплекс складних завдань, пов'язаних з заготівлею та зберіганням соломи, придбанням спеціальних механізмів, це так само пов'язано із складністю використання соломи як палива, його перевезення, стандартизації через надто великі відхилення в основних фізико-хімічних параметрах навіть для сусідніх господарств.

Площа посівів кукурудзи в нашій державі посідає третє місце після зернових і соняшнику та з кожним роком інтенсивно збільшується, що вказує на значний потенціал відходів і залишків даної культури як виду альтернативного палива. Проте кукурудза ще не набула широкого паливного застосування, оскільки збирання бадилля пов'язане з певними труднощами технологічного характеру та непопулярністю аграрних видів біомаси як палива. У той же час кукурудза за паливними властивостями не поступається іншим видам аграрної біомаси, а за показниками вологості та теплотворної здатності, як правило, навіть переважає їх. Порівняно із соломі зернових стебла кукурудзи є більш волокнистими, що спричиняє проблеми під час збирання та спалювання.

Важливим ресурсом для виробництва твердого біопалива є енергетичні культури. Українськими вченими проводяться роботи з виведення нових енергетичних культур. Так, в національному ботанічному саду національної академії наук України створено цінний генофонд енергетичної верби, цукрового сорго, міс-

кантуса, тополі, свічграса та інших енергетичних культур, що характеризуються швидкістю, засухоустійкістю, високою врожайністю насіння та фітомаси в зерні та надземній масі [1]. Ці рослини можуть культивуватись на малопродуктивних (маргінальних) землях, площі яких за даними інституту біоенергетичних культур і цукрових культур складають 8 млн. гектарів [12]. За раціонального підходу та чіткої стратегії такі види рослин можуть посісти конкурентні місця на ринку пелет. Потенційний вихід твердого біопалива з багаторічних енергетичних культур наведено в таблиці 3.

На даний час найширше застосовують тверде біопаливо, виготовлене з твердих рослинних відходів у вигляді пелет та брикетів. Пелети – це спресовані частинки рослинного походження, що мають форму циліндрів максимальним діаметром до 25 мм і завдовжки від 10 до 50 мм. Вони можуть бути виготовлені з деревини, торфу, трави, лушпиння, соломи, вугільного пилу та багатьох інших видів рослинної сировини, а також їх сумішей. Циліндрична форма паливних гранул забезпечує їм сипкість і дозволяє застосовувати автоматизацію у подавальних пристроях енергетичних установок [9].

Паливні брикети – це спресовані вироби циліндричної, прямокутної, шестигранної або будь-якої іншої форми довжиною 100-300 мм. Довжина брикетів циліндричної форми при виготовленні не повинна перевищувати діаметра 60 ÷ 75 мм. Стандартних розмірів у даній продукції немає.

Паливні – пелети і брикети мають високу конкурентоспроможність порівняно з іншими видами традиційного палива: для їх виробництва витрачається близько 3 % енергії. Для порівняння, під час виробництва нафти ці енерговитрати становлять близько 10 %, а при виробництві електроенергії – 60 %. Їх теплотворна здатність в 1,5 рази більша, ніж у звичайної деревини. При спалюванні 2000 кг пелет виділяється стільки ж теплової енергії, як і при спалюванні: 3200 кг деревини, 957 м³ газу, 1000 л дизельного палива, 1370 л мазуту. Горіння такого палива в топці котла відбувається більш ефективно – кількість золи не перевищує 0,5...6,5 % від загального об'єму використаного палива.

Крім того, ціни на таке паливо не залежать від зростання цін на викопні види палива і на підвищення екологічних податків.

Пелети – відносно новий вид біопалива, тому стандарти якості та вимоги до екологічності його виробництва та транспортування продовжують удосконалюватися і посилюватися. Завдання європейських регуляторів створити єдині стандарти незалежно від виробника та країни походження, щоб споживач міг бути впевнений у високій якості продукту. В Україні для стандартизації пелет була обрана найновіша система сертифікації ENplus, яка була розроблена DEPI (Deutsche Pellet Institut) для європейського пеллетного ринку і передана в управління АЕВІОМ (Європейська Асоціація Біомаси). Зараз цією системою сертифікації охоплено більше 60% європейського ринку пелет.

Аналіз технологій для виготовлення палива з твердих рослинних відходів

Для одержання максимальної економічної ефективності при використанні рослинної біомаси на енергетичні цілі необхідно забезпечити підвищення питомої теплоти згоряння твердого палива, зручність транспортування до енергетичних установок та керованість процесом горіння. Для цього необхідно дотримуватись вимог технології виготовлення продукції, використовувати якісну сировину, яка має відповідати встановленим вимогам, тобто створювати якісне стандартизоване паливо.

Весь процес виробництва умовно можна поділити на кілька етапів: подрібнення, сушіння, кондиціонування, пресування, охолодження, фасування і пакування. На початку виготовлення біопалива зібрані рослинні відходи подаються на попереднє подрібнення. Після подрібнення сировина проходить сепарування та вилучення з неї сторонніх предметів та домішок, а матеріал надходить на остаточне подрібнення. Після подрібнення сировина підлягає сушінню, а потім кондиціонуванню для одержання необхідної вологості перед гранулюванням. Виготовлені пелети проходять спочатку охолодження, а потім просіювання перед дозуванням на вагах. Завершальний процес в технології виготовлення біопалива перед складуванням готової продукції і відправлення її споживачеві – фасування. Залежно від стану вхідної сировини, її технологічних параметрів та фізико-механічних характеристик, кількість технологічних операцій та послідовність їх виконання може бути змінена у будь-якому окремо взятому випадку. Так, наприклад, при застосуванні сировини з вологістю до 12% (лушпиння соняшника або

суха стружка), етап сушіння може бути відсутній [9].

Особливістю сучасного стану виробництва пелет є те, що несприятливий діловий та інвестиційний клімат в нашій країні залишається основним бар'єром для розвитку цієї індустрії. У поєднанні з непередбачуваними змінами державної політики результатом маємо недостатнє інвестування. Це частково пояснює, чому значна частина виробників пелет в Україні досі використовують старі дешевші радянські технології замість того, щоб інвестувати у високоякісне обладнання.

У більшості випадків міжнародні постачальники спеціалізуються на поставках обладнання великої потужності, яке є відносно дорогим. Тому існує необхідність у розвитку вітчизняних розробок як комплексних технологічних ліній, так і окремих одиниць обладнання для потужностей різної величини. З огляду на наявність значної сировинної бази для умов України, мають перспективу як комплекти обладнання великої потужності для експлуатації в місцях великої концентрації сировини, так і невеликі мобільні установки, які можуть працювати в стаціонарних умовах та переміщуватися до місць з достатньою кількістю сировини, знижуючи затрати на транспортування біомаси до мінімуму.

Напрямки використання пелет

Важливим стимулюючим чинником застосування пелет є енергетична безпека держави. Використання місцевих ресурсів дозволить зменшити залежність від викопних видів палива та забезпечить надійність енергопостачання.

Гранульована біомаса має ряд використань, найбільш перспективним з яких є: спалювання в пелетних котлах, сумісне спалювання з вугіллям та газифікація гранульованої біомаси для отримання моторних палив.

Загальна кількість пелет, виготовлених в Україні в 2015 році, складала 1319465 т [8]. Головними особливостями виробництва є регіональна нерівномірність та його відносна незалежність, а також значна кількість невеликих за масштабом підприємств.

Наразі в Україні пелети застосовуються в незначних обсягах, але якщо їх використовувати для внутрішнього виробництва тепла, це може допомогти знизити обсяги імпорту газу. Таким чином, нарощування виробництва пелет повинно відповідати намірам уряду щодо сприяння розвитку альтернативної енергетики в Україні. Враховуючи експортний потенціал та

можливість заміни викопних палив, існує підґрунтя для розвитку пелетного ринку в Україні.

Переваги пелет найяскравіше проявляються при їхньому сумісному спалюванні з вугіллям на теплоелектростанціях. При згорянні необробленої сирової маси виникає ряд негативних технічних та експлуатаційних характеристик. Впродовж останніх десятиріч було проведено ряд досліджень для вивчення особливостей даного процесу. Результати досліджень виявились досить обнадійливими – вони показали, що ефективність роботи котлів не мають суттєвих втрат. Водночас при переоснащенні існуючого вугільного котла для спалювання суміші “біомаса / вугілля” частка біомаси залежить від властивостей вихідних компонентів [13].

Варто відмітити, що використання пелет для сумісного спалювання може суттєво зменшити викиди CO₂, в найближчому майбутньому та одночасно стимулювати створення інфраструктури постачання, яка призведе до зменшення витрат постачання біомаси в довготривалій перспективі і розширення можливостей різних варіантів використання біомаси.

Гранульована біомаса має ряд переваг при її використанні в процесах газифікації – невелику вологість та оптимальні пропорції компонентів мінімальну С, Н, О [14]. Встановлено, що вміст вологи та розмір частинок є вирішальними чинниками для ефективної роботи газогенератора. При цьому, змінюючи склад композитів рослинних відходів або їх фракційність у пелетах, можна виробляти синтез-газ у газогенераторах із покращеними характеристиками. Так, наприклад, використання пелет, виготовлених з суміші гранульованого вугілля і тирси з різною фракційністю, в процесі газифікації дозволяє збільшити вихід метану CH₄ та окису вуглецю CO, що збільшить теплоту згоряння виробленого синтезгазу [15].

Варто відзначити, що використання технологій гранулювання вирішує не тільки енергетичні, а й комплекс інших проблем – екологічних, сільськогосподарських, лісотехнічних та соціальних.

Висновки

Проведено літературний огляд технологій та обладнання для виготовлення палива з твердих рослинних відходів, сировинної бази, а також визначено основні напрямки використання гранульованого палива. Встановлено, що на даний час Україна має як значний потенціал рослинної біомаси, так і потужний потенціал для її вирощування. Для усунення недоліків

сировинних біологічних матеріалів та покращення їх властивостей доцільно використати процес гранулювання, який дозволить перетворити вихідну біомасу на високоефективне паливо з кращими експлуатаційними характеристиками теплотворної здатності, вологості, насипної густини, об’ємної густини енергії та дає можливість збільшити географію доставки сировини, зменшити вартість його транспортування та зберігання.

Гранульована біомаса у вигляді пелет та брикетів має ряд використань, найбільш перспективними з яких є: спалювання в пелетних котлах, сумісне спалювання з вугіллям та використання для покращення процесів газифікації.

Таким чином, можна зробити висновок, що виробництво пелет є новим напрямком в біоенергетиці України і знаходиться на початковій стадії розвитку. За цього перспективним є проведення наукових досліджень з визначення оптимальних режимів гранулювання для різних видів сировини та розроблення високотехнологічних зразків вітчизняного обладнання для комерційної реалізації проектів.

Література

1. Panchuk M., Kryshchtopa S., Shlapak L., Kryshchtopa L., Yarovy V., Sladkovskiy A. Main trend of biofuels. *Production in Ukraine. Transport Problems*. 2017. Vol. 12. No. 4. P. 95-103. doi: 10.20858/tp.2017.12.4.2.
2. Біологічні ресурси і технології виробництва біопалива: монографія / Я.Б. Блюм, Г.Г. Гелетуха, І.П. Григорюк та ін. К.: Аграр Медіа Груп, 2010. 408 с.
3. Mandryk O.M., Arkhypova L. M., Pobigun O.V., Maniuk O.R. Renewable energy sources for sustainable tourism in the Carpatian region. *IOP Publishing. IOPConf.Series: materials Science and Engineering* 144(2016)012007. International Conference on Innovative Ideas in Science (IIS2015) 12-13 November, Baia Mare, Romania. Volume 144. August 2016. doi: 10.1088/1757-899X/144/1/012007
4. Kryshchtopa S., Panchuk M., Dolishnii B., Kryshchtopa L., Hnyp M., Skalatska O. Research into emissions of nitrogen oxides when convert the diesel engines to alternative fuels. *East-european journal of enterprize technologies*. 2018. Vol. 1. No. 10 (91). P. 16-22. doi: 10.15587/1729-4061.2018.124045.
5. Panchuk M., Panchuk A., Mandryk I. Opportunities for the produktional use of biometane in Ukraine. *International Scientific-Technical Conference “Actual Problems of Power*

Enginiring, Construction and environmental Enginiring”, 7-9 February 2019, Kielce, Poland.

6. Закон України про альтернативні види палива. Відомості Верховної Ради України (ВВР). 2000. № 12. ст. 94.

7. Гелетука Г.Г., Железна Т.А. Сучасний стан та перспективи розвитку біоенергетики в Україні. *Пром. теплотехніка*. 2017. т. 39. № 2. С. 60-64.

8. Geletukha G., Kramar V., Elik O., Antochsuk T., Titkov V. Comprehensive analysis of the Ukrainian biomass pellets market. Kiev, 2016. URL: <http://uabio.org/en/activity/uabio-analytics/3164-comprehensive-analysis-of-biomass-boilers-market-in-ukraine>

9. Клименко В.В., Кравченко В.І., Боков В.М., Гуцул В.І. Технологічні основи виготовлення біопалива з рослинних відходів та їх композитів: монографія / за ред. В.В. Клименка Кропивницький: ПП «Ексклюзив-Систем», 2017. 162 с.

10. Zheng Ji-Lu, Zhu Ming-Qiang, Wen Jia-Long, Wu Hai-Tang, Sun Run-Cang. Opportunities for Production of Biosynfuels via Bio-Oil Gasification. *Research & Reviews: Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2016. Vol. 5, Issue 4.

11. Данчук І.Г. Документування найкращих практик застосування біоенергетичних технологій в муніципальному секторі в Україні. К. ПРООН/ГЕФ "Розвиток та комерціалізація біоенергетичних технологій у муніципальному секторі в Україні", 2015. 157 с.

12. Ганженко О.М. Наукове забезпечення енергетичної автономізації агропромислового виробництва на основі використання біопалива. *Енергетична автономізація агропромислового сектора на основі відновлювальних джерел енергії: семінар в рамках виставки XXX міжнародної агропромислової виставки Агро-2018, 6-9 червня 2018 р. Київ*. URL: <http://bio.gov.ua/bioenergy/news/seminar-energetychna-avtonomizaciya-agropromyslovogo-sektora-na-osnovi-vidnovlyuvalnyh-dzherel-energiyi>.

13. Jakubiak M., Kordylewski W. Toryfikacja biomasy. *Polski Instytut Spalania*. 2010. Vol 10. No 1-2. P. 11-25.

14. Ptasinski K.J. Evaluation of thermodynamic efficiency of biowaste gasification. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*. Vol. 109. URL: www.witpress.com, ISSN 1743-3541 (on-line) doi:10.2495/WM080331

15. Karkania E., Fanara A., Zabaniotou A. Review of sustainable biomass pellets production – A study for agricultural residues pellets’ market in Greece. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2012. Vol. 16. No. 3. P. 1426–1436.

References

1. Panchuk M., Kryshstopa S., Shlapak L., Kryshstopa L., Yarovy V., Sladkovskiy A. Main trend of biofuels. *Production in Ukraine. Transport Problems*. 2017. Vol. 12. No. 4. P. 95-103. doi: 10.20858/tp.2017.12.4.2.

2. Biological resources and technologies of biofuel production: monograph / Ya.B. Blium, H.H. Heletukha, I.P. Hryhoriuk and others. K.: Agrar Media Group, 2010. 408 p.

3. Mandryk O.M., Arkhypova L. M., Pobigun O.V., Maniuk O.R. Renewable energy sources for sustainable tourism in the Carpatian region. *IOP Publishing. IOPConf.Series: materials Science and Engineering* 144(2016)012007. International Conference on Innovative Ideas in Science (IIS2015) 12-13 November, Baia Mare, Romania. Volume 144. August 2016. doi: 10.1088/1757-899X/144/1/012007

4. Kryshstopa S., Panchuk M., Dolishnii B., Kryshstopa L., Hnyp M., Skalatska O. Research into emissions of nitrogen oxides when converting the diesel engines to alternative fuels. *East-European journal of enterprise technologies*. 2018. Vol. 1. No. 10 (91). P. 16-22. doi: 10.15587/1729-4061.2018.124045.

5. Panchuk M., Panchuk A., Mandryk I. Opportunities for the productional use of biometane in Ukraine. *International Scientific-Technical Conference “Actual Problems of Power Enginiring, Construction and environmental Enginiring”*, 7-9 February 2019, Kielce, Poland.

6. Law of Ukraine “On the Alternative Types of Fuels”. Chronicle of the Supreme Council of Ukraine (CSCU). 2000. No 12. P. 94.

7. Geletukha G., Zheliezna T. State of the art and prospects for bioenergy development in Ukraine. *Industrial heat engineering*. 2017. Vol. 39. No 2. P. 60-64.

8. Geletukha G., Kramar V., Elik O., Antochsuk T., Titkov V. Comprehensive analysis of the Ukrainian biomass pellets market. Kiev, 2016. URL: <http://uabio.org/en/activity/uabio-analytics/3164-comprehensive-analysis-of-biomass-boilers-market-in-ukraine>

9. Klymenko V.V., Kravchenko V.I., Bokov V.M., Hutsul V.I. Technological bases for the production of biofuels from vegetable waste and their composites: monograph / Edited by V.V. Klymenko. Kropyvnytskyi: PC “Exclusive-System”, 2017. 162 p.

10. Zheng Ji-Lu, Zhu Ming-Qiang, Wen Jia-Long, Wu Hai-Tang, Sun Run-Cang. Opportunities for Production of Biosynfuels via Bio-Oil Gasification.

tion. *Research & Reviews: Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2016. Vol. 5, Issue 4.

11. Danchuk I.H. Documenting the best practices of using bioenergy technologies in the municipal sector of Ukraine. K. UNDP/GEF “Development and commercialization of bioenergy technologies in the municipal sector of Ukraine”, 2015. 157 p.

12. Hanzhenko, O.M. Scientific Support of Energy Autonomy of Agro-Industrial Production on the Basis of Biofuel Usage. *Energy Autonomy of Agro-Industrial Sector on the Basis of Renewable Energy Sources*: Seminar workshop was held within the framework of the exhibition of the XXX International Agro-Industrial Exhibition Agro-2018, June 6-9, 2018, Kyiv. URL: <http://bio.gov.ua/bioenergy/news/seminar-energetychna-avtonomizaciya-agropromyslovogo-sektora-na-osnovi-vidnovlyvalnyh-dzherel-energiyi>.

13. Jakubiak M., Kordylewski W. Toryfikacja biomasy. *Polski Instytut Spalania*. 2010. Vol 10. No 1-2. P. 11-25.

14. Ptasinski K.J. Evaluation of thermodynamic efficiency of biowaste gasification. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*. Vol. 109. URL: www.witpress.com, ISSN 1743-3541 (on-line) doi:10.2495/WM080331

15. Karkania E., Fanara A., Zabaniotou A. Review of sustainable biomass pellets production – A study for agricultural residues pellets’ market in Greece. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2012. Vol. 16. No. 3. pp. 1426–1436.