

**О.О. СЕРЬОГІН**, д-р техн. наук, проф., НУХТ, Київ,

**О.О. ОСЬМАК**, ас., НУХТ, Київ,

**А.В. БАШТА**, канд. техн. наук, доц., НУХТ, Київ

## **ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ТЕРМОХІМІЧНОЇ КОНВЕРСІЇ СУМІШЕЙ БІОТЕХНІЧНИХ ВІДХОДІВ**

Наведено перспективи використання альтернативних видів палива в Україні. Представлена порівняльна характеристика властивостей різних видів палива, його вартість та вимоги по якості: теплотворна здатність сухої маси, вологість, середній розмір частинок, вміст золи. Досліджено проблеми енергетичного використання біопалив з рослинної біомаси шляхом створення нового покоління опалювальних пристроїв.

**Ключові слова:** енергоефективність, альтернативні види палива, твердопаливні котли, рослинна біомаса, газогенерація.

**Вступ.** В сучасних економічних умовах все більше уваги приділяють підвищенню енергоефективності в господарському комплексі. Тільки за останні декілька років прийняті низка законодавчих документів, щодо запровадження термінових заходів для зниження енергоємності галузей АПК від імпортного природного газу.

Використання відходів деревини та вирощування енергетичних лісів – шляхи стійкого розвитку в одержанні енергетичної деревної та кущової біомаси. Бізнес-процеси у сфері розвитку ринку твердого біопалива з деревини сприятимуть збільшенню нових робочих місць в регіонах країни, де спостерігається безробіття. Поширення енергетичних плантацій на виснажених ґрунтах, виведених з сільськогосподарського використання, конкурентоспроможне вже зараз [3].

Біомасу можна використовувати в енергетичних цілях в процесі безпосереднього спалювання твердого біопалива, а також у переробленому в гранули або брикети вигляді, що має величезні переваги в порівнянні з використанням традиційних видів палива. Для виробництва гранул чи брикетів витрачається близько 3 % енергії, тим часом як, при переробці нафти ці енерговитрати складають 10 %, а при виробництві електроенергії – 60 %. Теплотворна здатність гранул чи брикетів становить  $4,5 \div 5,0$  кВт/кг, що в 1,5 рази більше, ніж у звичайної деревини і співставна з вугіллям.

Горіння брикетів в топці котла відбувається більш ефективно – кількість залишків (золи) не перевищує  $0,5 \div 1,0$  % від загального об'єму використаного палива [2]. В сучасних котлах попіл з біомаси використовують як добриво. Спалювання брикетів істотно не впливає на навколишнє середовище, тобто дозволяє зберігати екологію докільця на сталому рівні.

Розробка проектів з переведення частини котелень підприємств комунальної теплоенергетики з природного газу на інші види палива, впровадження модульних твердопаливних котелень є досить перспективним напрямком поліпшення стану енергетичної галузі в державі.

**Мета роботи.** Дослідження проблем енергетичного використання біопалив з рослинної біомаси з метою втілення нового покоління опалювальних пристроїв з коефіцієнтом корисної дії у межах від 80 до 90 %.

**Результати та обговорення.** Для багатьох регіонів України використання власного твердого біопалива доцільніше, ніж вугілля або нафтопродуктів, бо вироблене з місцевої сировини біопаливо обходиться у  $2 \div 4$  рази дешевше і не потребує значних транспортних витрат на його доставку (табл. 1).

Таблиця 1 – Порівняльна характеристика властивостей різних видів палива

Вид палива	Вологість матеріалу, %	Теплотворна здатність, МДж/кг	Вміст сірки, %	Вміст золи, %
Природний газ	–	$35 \div 38$ МДж/м <sup>3</sup>	0	0
Кам'яне вугілля	–	$15 \div 25$	$1 \div 3$	$10 \div 35$
Паливо моторне	–	42,5	0,2	1,0
Мазут	–	42	1,2	1,5
Тріски дерев, тирса	$40 \div 45$	$10,5 \div 12,0$	0	2,0
Брикети, гранули з деревини	$7 \div 8$	$16,8 \div 21,0$	0,1	1,0
Брикети, гранули з соломи	$8 \div 10$	$16,5 \div 18,8$	0,2	4,0

Тверде біопаливо переважно використовують у вигляді солом'яних брикетів, гранул, відходів деревини та відходів сільськогосподарського виробництва. За неповною інформацією, новітні котли для спалювання соломи та інших видів твердого біопалива вже встановлені в багатьох селах Вінницької, Київської, Сумської, Рівненської, Волинської та Черкаської областей, де забезпечують теплом частину виробничих приміщень (тваринницькі ферми, птахоферми) та соціальних об'єктів – школи, лікарні, дитячі садки [3].

Ринок твердого біопалива та обладнання для його виробництва та використання знаходиться на етапі активного освоєння й розвитку. При цьому вартість твердого біопалива в Україні сьогодні нижча, ніж у ЄС (табл. 2) [1, 3].

Таблиця 2 – Вартість різних видів твердого біопалива в Україні

Вид твердого біопалива	Типова ціна, грн./т	Нижча теплотворна здатність, МДж/кг	Вартість енергії біопалива, грн./ГДж	Співвідношення ціни природного газу до ціни біопалива*
Відходи від переробки деревини	0 ÷ 10	10 ÷ 12	0 ÷ 0,9	> 88
Дрова (ціна з доставкою)	200	10 ÷ 12	18,2	4,4
Гранули з деревини	800	18	44,4	1,8
Солома в паках (ціна з доставкою)	300	15	20,0	4,0

До такого виду палив існує ряд вимоги по якості. Подрібнене тверде біопаливо для котлів, яке складається з відходів деревини (залишків кори, тирси, зрубків, шматків деревини тощо), повинне мати: теплотворну здатність сухої маси вищу, ніж 5400 кВт·год/т; вологість – меншу, ніж 40 %; середній розмір частинок – на рівні 50 × 50 × 20 мм, при цьому частинок з розмірами до 150 × 60 × 20 мм – не більше, ніж 10 %; вміст золи – до 2 % його сухої маси. До того ж, не допускається додавання в біопаливо речовин, здатних негативно вплинути на його зберігання, перевезення й використання в опалювальному обладнанні [3].

Важливим чинником якості твердого біопалива є технологія приготування біомаси до спалювання. Вона обумовлює конструктивно-технологічне виконання теплотехнічного обладнання, істотно впливає на економічні показники його роботи. Особливу увагу слід звертати на вибір технологій та обладнання для енергетичного використання твердої біомаси, які визначають величину капітальних витрат. Для виготовлення різних видів твердого біопалива з відходів деревини розроблено спеціальні промислові технології.

Основними технологіями термічної переробки твердого біопалива (рослинної біомаси та деревини) є пряме спалювання, газифікація і піроліз. Спалювання біомаси є найбільш простим способом отримання енергії. В багатьох випадках цей спосіб вважають найекономічнішим. У хімічному розумінні спалювання полягає в конверсії всіх органічних матеріалів на двоокис вуглецю та воду за наявності кисню (зазвичай атмосферного). Дуже велика неоднорідність біомаси, з точки зору хімічного складу та фізичних властивостей, викликає певні труднощі – як в процесі спалювання, так і в емісії компонентів, які є побічними продуктами процесу [4].

Особливої уваги заслуговують котли-газогенератори піролізного типу.

В основу роботи газогенераторних (піролізних) котлів (рис. 1) закладено принцип піролізу біомаси, що полягає в розкладанні сухої деревини під дією

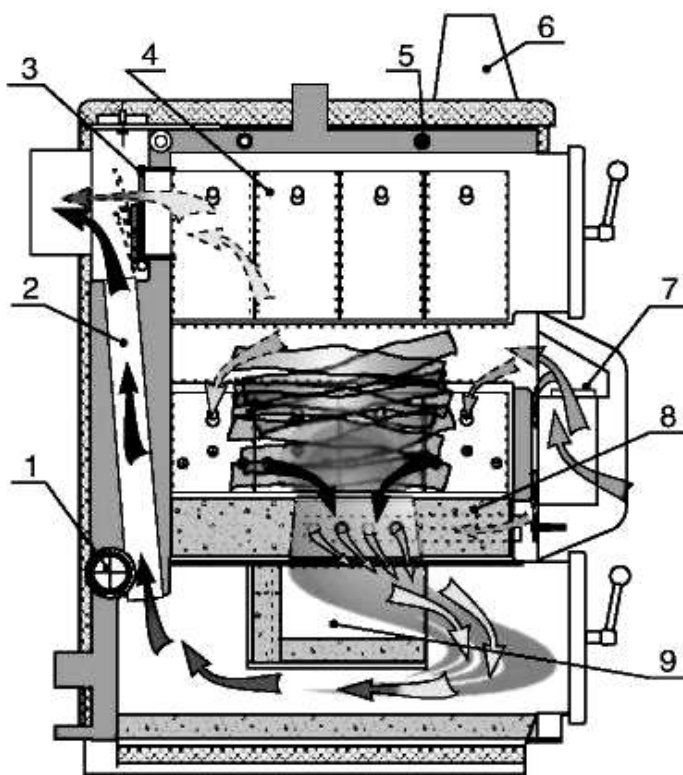
високої температури в умовах нестачі кисню на піролізний газ і твердий залишок (деревне вугілля).

За сучасними технологіями біомасу спалюють у двофазних генераторах.

У першій фазі відбувається дегазування та газифікація біомаси при зниженому вмісті кисню.

У другій фазі отриманий газ подається у високотемпературну камеру, де, після перемішування з нагрітим повітрям, спалюється при температурі близько 1000 °С.

Піролізні котли призначені для спалювання кускової деревини діаметром 80 ÷ 150 мм з вологістю до 20 % й паливних брикетів з біомаси, також в камеру завантаження можна додавати до 10 % стружки чи дрібних деревних відходів. Високу ефективність в опалювальний період дозволяють отримати додатково встановлені при піролізному котлі акумуляторні місткості, які можуть продовжувати роботу опалювальної системи протягом 1 ÷ 3 днів після останнього завантаження біопалива [2].



KALVIS - 12-20

Рис. 1 – Твердопаливний котел «KALVIS-12-20» газогенераторного (піролізного) типу: 1 – місце для електронагрівальних елементів, 2 – теплообмінник, 3 – шибер розпалу, 4 – завантажувальна камера, 5 – спіраль аварійного охолодження, 6 – пульт керування, 7 – вентилятор (димосос), 8 – плита топки, 9 – камера згорання, 10 – регулятор тяги, 11 – розповсюджувач полум'я.

Встановлення котла з місткістю акумуляції приносить ще кілька переваг.

- По-перше, зменшується на 20 ÷ 30 % витрата біопалива, оскільки котел працює на повну потужність, з максимальною ефективністю – аж до повного завершення роботи.

- По-друге, подовжуються терміни служби котла і димаря, бо відбувається мінімальне утворення дьогтю й кислот при мінімізації роботи котла на перехідних режимах.

- Нарешті, зростає комфортність опалювальної системи, а також її екологічна безпека. Піролізний газ в процесі згорання взаємодіє з активним вуглецем, внаслідок чого димові гази на виході з піролізних котлів майже не містять шкідливих домішок, а також істотно скорочують викиди CO<sub>2</sub> в атмосферу.

Потреба в паливі при номінальному навантаженні становить відповідно 6 та 25 кг за годину при потужностях 25 і 100 кВт відповідно. А коефіцієнт корисної дії даних котлів складає не менше 80 ÷ 89 %

Підібравши необхідну модель можна успішно вирішити питання опалення, як окремого будинку на одну родину, дачі, або котеджу так і багатоквартирного будинку, школи, виробничих приміщень або невеликого мікрорайону. При цьому будуть дотримані європейські вимоги по економічних та екологічних показниках. Наприклад, товариством «Волинь-Калвіс» організовано проект котельні типової районної лікарні потужністю 2 МВт за опалювальний сезон на твердому паливі, що економить до 1,3 млн. грн. в порівнянні з використанням газу. Аналогічний об'єкт, також лікарня зі школою, опалюються в смт Ківерці з використанням котлів KALVIS-950M з механізованою подачею щепи та тирси, в рік заощаджує до 800 тис. грн. Наприклад, модульна котельня 720 кВт з використанням деревних відходів в рік заощаджує 250 ÷ 300 тис. грн. Впевнено можна сказати, що такі проекти мають окупність в залежності від котла та виду твердого палива від 1 до 3 років.

Згідно з розробленою в ІТТФ НАНУ концепцією впровадження біоенергетичного обладнання в Україні до 2015 р., обсяг ринку України для впровадження опалювальних, промислових та побутових котлів на біомасі становить близько 57 тис. одиниць загальною встановленою потужністю понад 8 тис. МВт.

Уведення в експлуатацію цього обладнання призведе до заміщення 5,5 млн. т/рік умовного палива (4,8 млрд. м<sup>3</sup>/рік природного газу) та зниження викидів парникових газів на 8,2 млн. т CO<sub>2</sub>/рік.

Сумарна річна економія коштів завдяки заміщенню природного газу (за ціни 2631 грн./1000 м<sup>3</sup>) біомасою (за середньої ціни 200 грн./т) становить 10,2 млрд. грн., що у 1,8 рази більше величини загальних інвестиційних витрат, необхідних на впровадження запропонованого парку котлів (5,6 млрд. грн.). Важливо, що ця економія коштів буде повторюватися з року в рік.

**Висновок.** Таким чином, реалізацію концепції з впровадження котлів на біомасі можна розглядати як дуже привабливий інвестиційний проект загальнодержавного масштабу.

**Список літератури:** 1. *Шпаар Д.* Возобновляемое растительное сырье (производство и использование) / [Д. Шпаар, Д.Б. Рахметов, А. Адам и др.]; под. ред. Д. Шпаара. – С.-Пб.: Пушкин, 2006. – 416 с. 2. *Гелетуха Г.Г.* Обзор технологий газификации биомассы / Г.Г. Гелетуха, Т.А. Железная // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 1998. – № 2. – С. 21 – 29. 3. *Блюм Я.Б.* Новітні технології біоконверсії: монографія / [Я.Б. Блюм, Г.Г. Гелетуха, І.П. Григорюк та ін.]. – К.: Аграр Медіа Груп, 2010. – 326 с. 4. *Kurkela E.* Development and commercialization of biomass and waste gasification technologies from reliable and robust cofiring plants to wards synthesis gas production and advanced power cycles / E. Kurkela, M. Nieminen, P. Simell // II World Biomass Conference, 10-14 may 2004 y.: proc. – Rome, 2004. – P. 10 – 15.

**Referens:** 1. *Shpaar D.* Vozobnovljaemoe rastitel'noe syr'e (proizvodstvo i ispol'zovanie) / [D. Shpaar, D.B. Rahmetov, A. Adam i dr.]; pod. red. D. Shpaara. – St.-Peterburg: Pushkin, 2006. – 416 s. 2. *Geletuha G.G.* Obzor tehnologij gazifikacii biomassy / G.G. Geletuha, T.A. Zheleznaja // Jekotehnologii i resursosberezhenie. – 1998. – № 2. – S. 21 – 29. 3. *Blyum Ya.B.* Novitni tekhnolohiyi biokonversiyi: monohrafiya / [Ya.B. Blyum, H.H. Heletukha, I.P. Hryhoryuk ta in.] – Kyiv: Ahrar Media Hrup, 2010. – 326 s. 4. *Kurkela E.* Development and commercialization of biomass and waste gasification technologies from reliable and robust cofiring plants to wards synthesis gas production and advanced power cycles / E. Kurkela, M. Nieminen, P. Simell // II World Biomass Conference, 10-14 may 2004 y.: proc. – Rome, 2004. – P. 10 – 15.

*Надійшла до редколегії (Received by the editorial board) 15.06.14.*

УДК 633.002.68:620.9

**Фізико-хімічні основи проектування обладнання для термохімічної конверсії сумішей біотехнічних відходів / О.О. СЕРЬОГІН, О.О. ОСЬМАК, А.В. БАШТА // Вісник НТУ «ХП». – 2014. – № 52 (1094). – (Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія). – С. 122 – 128. – Бібліогр.: 4 назв. – ISSN 2079-0821.**

Приведены перспективы использования альтернативных видов топлива в Украине. Представленная сравнительная характеристика свойств различных видов топлив, его стоимость и требования по качеству: теплотворная способность сухой массы, влажность, средний размер частиц, содержание золы. Исследованы проблемы энергетического использования биотоплива из растительных отходов. *ISSN2079-0821.* Вісник НТУ «ХП». 2014. № 52 (1094)

тельной биомассы путем создания нового поколения отопительных устройств.

**Ключевые слова:** энергоэффективность, альтернативные виды топлива, твердотопливные котлы, растительная биомасса, газогенерация.

UDC 633.002.68:620.9

**Physico-chemical principles of designing equipment for thermochemical conversion of mixtures of biotechnological waste / A.A. SEREGIN, A.A. OSMAK, A.V. BASHTA // Visnyk NTU «KhPI». – 2014. – № 52 (1094). – (Series: Khimiya, khimichna tekhnolohiya ta ecolohiya). – P. 122 – 128. – Bibliogr.: 4 names. – ISSN 2079-0821.**

The prospects of using the alternative fuels in Ukraine are shown. The comparative characteristics of the different fuels properties, the costs and demands of the quality are presented. They are the calorific value of dry weight, the moisture content, the average particle size, the ash content. The problems of energy using of biofuels from plant biomass through the creation of a new generation of heating devices is investigated. Confirmed that the installation of the boiler with a capacity of accumulation has several advantages, namely reduced costs of biofuels by 20 ÷ 30 %; extended service life of the boiler and chimney, resulting minimal formation of tar and acids while minimizing the boiler to transient conditions and increases comfort heating system and its environmental safety.

**Key words:** energy efficiency, alternative fuels, solid fuel boilers, plant biomass, gas generation.

УДК 621.926.4:62-251

**М.І. СОКУР**, д-р техн. наук, проф., КрНУ ім. М. Остроградського,  
Кременчук,

**Л.М. СОКУР**, ст. викл., КрНУ ім. М. Остроградського, Кременчук,

**І.М. СОКУР**, наук. співроб., КрНУ ім. М. Остроградського, Кременчук

## **РОЗРОБКА І ДОСЛІДЖЕННЯ ВІДЦЕНТРОВО-УДАРНОЇ ДРОБАРКИ З ДЕМПФУЮЧОЮ ГІДРОСТАТИЧНОЮ ОПОРОЮ РОЗГОННОГО РОТОРА**

Описано особливості конструкції і принципи роботи відцентрово-ударної дробарки з гідростатичною опорою розгінного ротора, яка дозволяє ефективно компенсувати конструктивні і технологічні дисбаланси швидкообертового ротора. Приведено результати досліджень дробарки в напівпромислових умовах по дробленню магнетитових кварцитів Криворізького залізорудного родовища. Зроблений висновок про доцільність застосування дробарок для дроблення руд і будівельних матеріалів.

**Ключові слова:** дробарка, ротор, кварцити, дроблення, будівельні матеріали.

© М.І.Сокур, Л.М. Сокур, І.М. Сокур, 2014