В. І. Ялечко¹, Ф. Д. Матіко¹, Я. М. Гнатишин²

¹ Національний університет "Львівська політехніка", м. Львів, Україна

² Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, Україна

КОТЕЛЬНЯ НА ОСНОВІ УДОСКОНАЛЕНОЇ ПАЛИВНИ ПІДВИЩЕНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

Для забезпечення технологічності виготовлення обладнання котельні, скорочення обсягу монтажних робіт, підвищення рівня ремонтпридатності і зручності обслуговування, а також ефективності, обладнання котельні запропоновано згрупувати в модулі на основі котлів невеликої потужності. Враховуючи технічні особливості відомих технологій спалювання палива, можна стверджувати, що для котлів невеликої потужності оптимальним рішенням є спалювання локальних твердих видів палива – біомаси. Виконано розрахунок економічності заміщення деревним паливом природного газу для котлів потужністю 1-2 МВт (найпоширеніші котли для енергозабезпечення комунально-побутових та промислових підприємств). Для оцінювання енергетичної цінності деревини та її відходів досліджено теплотехнічні та кінетичні параметри групи порід, які широко використовують як паливо для спалювання у твердопаливних котлах, та удосконалено математичну модель спалювання подрібненої деревної біомаси. На основі результатів проведених досліджень розроблено конструкцію паливної для забезпечення максимального ККД під час спалювання подрібненої деревної біомаси. Застосування удосконаленої конструкції паливної, а також модульного принципу побудови, дають змогу побудувати ефективну котельню на основі спалювання подрібненої деревної біомаси.

Ключові слова: процес спалювання; деревна біомаса; кінетичні параметри; математична модель; паливний пристрій.

Вступ. Упровадження біоенергетики та біотехнологій є актуальним для світової спільноти через небезпеку глобальної зміни клімату внаслідок викиду в навколишнє середовище парникових газів – продуктів згорання та хімічних перетворень викопних палив (вугілля, нафта, газ), а також їх дефіцит.

Прогнозуючи подальший розвиток економіки й енергетики на основі сучасних найефективніших технологій, можна зробити висновок про можливість частково або повної, залежно від регіону, заміни ядерного і викопного палива відновлюваними джерелами енергії.

Кількість котельень на біопаливі для вироблення теплової енергії шляхом спалювання фітомаси невпинно зростає. Проблемаю спалювання фітомаси є підвищення ККД паливного пристрою та установки загалом. Підвищення ККД паливної можна досягти за допомогою удосконалення її конструкції та підтримування відповідного режиму спалювання біопалива (Dumych, & Pas-karyk, 2013; Geletukha, & Zheleznyaya, 1999).

Мета дослідження – розробити основні рішення щодо побудови котельні на основі здрібненого деревного біопалива з підвищеним коефіцієнтом корисної дії.

Комплекс котельні – це логічна система взаємозв'язків для забезпечення та доставки біопалива до будівлі

самої котельні, зберігання та подачі біопалива, його спалювання та отримання теплової енергії. До його складу входять:

- система приймання, складування та подачі біопалива (паливний приймач, завантажувач, паливний склад);
- система подрібнення біомаси до заданого фракційного складу;
- система спалювання біопалива з виробництвом теплової енергії;
- система аспірації димових газів;
- система золовидалення;
- система контролю та управління (система автоматичного регулювання процесом дозування подачі палива та управління процесами оптимального горіння та теплообміну в котлі).

Для забезпечення технологічності виготовлення обладнання котельні, скорочення обсягу монтажних робіт, підвищення рівня ремонтпридатності і зручності обслуговування, обладнання котельні пропонуємо згрупувати в модулі.

Оцінювання перспективності того чи іншого проекту має враховувати не тільки обсяг капітальних вкладень на впровадження технології, але і подальшу економію ресурсів у процесі генерації енергії на котельнях.

Інформація про авторів:

Ялечко Володимир Іванович, асистент кафедри теплоенергетики, теплових і атомних електричних станцій.

Email: volodymyr.i.yalechko@lpnu.ua

Матіко Федір Дмитрович, д-р техн. наук, доцент кафедри теплоенергетики, теплових і атомних електричних станцій.

Email: fmatiko@gmail.com

Гнатишин Ярослав Михайлович, канд. техн. наук, доцент кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій.

Email: yaroslav.hnatyshyn@gmail.com

Цитування за ДСТУ: Ялечко В. І., Матіко Ф. Д., Гнатишин Я. М. Котельня на основі удосконаленої паливної підвищеної ефективності. Науковий вісник НЛТУ України. 2017. Вип. 27(6). С. 131–134.

Citation APA: Yalchko, V. I., Matiko, F. D., & Hnatyshyn, Ya. M. (2017). Boiler House Based on Improved Furnace of High Efficiency. *Scientific Bulletin of UNFU*, 27(6), 131–134. <https://doi.org/10.15421/40270626>

Враховуючи технічні особливості відомих технологій спалювання палива, можна стверджувати, що для котлів невеликої потужності оптимальним рішенням є спалювання локальних твердих видів палива – біомаси.

Внаслідок цього актуальним завданням є розвиток та вдосконалення нових технологій для спалювання різного роду деревини, а саме: вживаної, швидкозростаючої, а також відходів деревообробного виробництва (Geletukha, & Zheleznaia, 1999; Yalchkom, et al., 2013).

Вибір твердопаливного котла визначається місцевою енергетичною ресурсною базою: наявністю відходів деревообробної промисловості, лісгоспів, сільськогосподарського виробництва, корисних копалин (торф, буре, кам'яне вугілля і т. ін.).

На сьогодні часто стоїть питання вибору між газовими котлами (які є найзручнішими за способом постачання палива) та твердопаливними. Виконано розрахунок економічності заміщення деревним паливом природного газу для котлів потужністю 1-2 МВт (найпоширеніші котли для енергозабезпечення комунально-побутових та промислових підприємств). У табл. наведено результати розрахунку обсягу деревини, необхідного для забезпечення відповідної потужності для котлів з різним ККД. На рис. 1 представлено вартість заміщення деревиною енергії, яка виробляється внаслідок спалювання 1000 м³ газу.

Табл. Розрахунок обсягу відходів деревини для використання їх як палива у котлах потужністю 1 та 2 МВт

Вид деревного палива	Потужність котельної установки, МВт					
	1			2		
	ККД, %					
	87	90	93	87	90	93
	Необхідний обсяг палива, м³/добу					
Суміш деревини сосни, берези і осики ($Q_n^p=14400$ кДж/кг, $W=20\%$)	22,75	22,17	21,6	45,79	44,35	42,91

З табл. 1 видно, що основна перевага твердопаливного котла перед газовим котлом – це низька вартість нетрадиційних видів палива (деревини та/або її відходів) порівняно із природним газом.

Рис. 1. Вартість заміщення деревиною енергії, яка виробляється внаслідок спалювання 1000 м³ газу

Деревина є матеріалом, фізико-хімічні властивості якого змінюються під час нагрівання та горіння. Для оцінювання енергетичної цінності деревини та її відходів проведено дослідження теплофізичних, теплотехнічних та кінетичних параметрів (Yalchko, et al., 2016a; 2016b). За результатами виконаних досліджень встановлено, що теплотехнічні характеристики деревної біомаси загалом є такими: теплотворна здатність змінюється від 12 до 19 МДж/кг, зольність є незначною – від 0,8 до

1,5 %, вологість – 10-40 %. Фізико-механічні характеристики, такі як щільність, розміри частинок можуть бути змінені за допомогою подрібнення та ущільнення. Тому для підвищення енергоефективності спалювання біомаси та зниження рівня забруднювальних речовин потрібно враховувати зазначені характеристики під час підготовки палива.

Виділимо групу порід, які широко використовують як паливо для спалювання у твердопаливних котлах, зокрема: сосна, береза, осика, вільха, верба швидкозростаюча (*Salix Viminalis*). Для цієї групи порід досліджено теплотехнічні та кінетичні параметри (Yalchko, et al., 2016a; 2016b; Mysak, et al., 2017) та удосконалено математичну модель спалювання подрібненої деревної біомаси (Hnatyshyn, Yalchko, & Mukha, 2013; Yalchko, et al., 2013). Наявність такої моделі та експериментально отриманих значень кінетичних параметрів деяких порід створює базу для дослідження процесу спалювання не тільки окремих чистих порід, а і їх сумішей. Отже, підготовлено теоретичну базу для аналізу процесів спалювання сумішей деревної біомаси названих порід та вдосконалення відповідних паливних пристроїв.

На основі результатів проведених досліджень розроблено конструкцію паливни для забезпечення максимального ККД під час спалювання подрібненої деревної біомаси. Конструкцію цієї паливни представлено на рис. 2.

Рис. 2. Камерна паливня для спалювання здрібненої біомаси: 1, 2) обмурівка паливни; 3) підлога паливни; 4) робоча перегородка із закріпкою; 5) дашок; 6) допоміжна перегородка; 7, 8) виступи; 9) пальник для допалювання; 10) шнекова подача палива; 11) економайзерна колосникова решітка; 12) трубка для подачі підігрітого повітря; 13) основна камера; 14) камера допалювання; 15, 16, 17) люки для видалення золи; 18) отвір виходу димових газів

Паливня сконструйована так (див. рис. 2) (Yalchko & Hnatyshyn, 2014). Подрібнена деревна біомаса за допомогою шнекової подачі 10 з одночасною подачею повітря для інтенсифікації горіння подається в основну камеру спалювання 13, та підпалюється за допомогою факела знизу через економайзерну колосникову решітку 11 через люк у нижній частині підлоги паливни 3. Для підтримання процесу спалювання деревної біомаси подається підігріте повітря через трубу 12, яка розміщена у середині робочої перегородки 4. Для активного перемішування паливної суміші та рівномірного її розподілу

в площині колосникової решітки шнекова подача 10 розміщена під кутом до підлоги паливни 3. Також для створення додаткового завихрення продуктів спалювання у верхній частині камери згорання 13 на внутрішній обмурівці 2 та на робочій перегородці 4 передбачено виступи 7 і 8. Завдяки наявності цих виступів вихор, сформований в основній камері спалювання 13, забезпечує повніше перемішування та вигорання палива навіть за малого надлишку повітря, а це сприяє зниженню рівня утворення окислів азоту в продуктах згорання.

Перша стадія догорання крупніших частинок палива передбачена у верхній частині камери спалювання 14. Для цього над дашком 5, що встановлений під кутом до підлоги паливни, розміщений пальник 9 для допалювання. Друга стадія допалювання найкрупніших частинок палива протікає у нижній частині камери допалювання, яка розділена допоміжною перегородкою 6. Таким чином створюється додаткове завихрення потоку для більш ефективного допалювання крупніших частинок. Для видалення золових відкладень передбачені люки 15-17. Вихід димових газів здійснюється через отвір 18 збоку в стінці камери допалювання. Таке розміщення забезпечує ефективне спалювання та безпечний вихід димових газів.

Використання запропонованої конструкції паливни має такі переваги:

- можливість спалювати паливо з високим вмістом вологи ($W = 20 \dots 40 \%$);
- низька собівартість вироблення енергії порівняно з природним газом (2,5...4 рази);
- збільшення часу перебування часток палива в паливному об'ємі паливни, конструкція якої передбачає два виступи для створення вихору в основній камері згорання, а також додатковий пальник у камері допалювання, за допомогою якого створюється додатковий вихор спалюваної деревної суміші;
- ефективніший розподіл теплових потоків, який забезпечується запропонованими вдосконаленнями, а саме – стелю основної камери спалювання та камери допалювання виконана півсферичної форми;
- для ефективнішого спалювання деревної біомаси передбачено одночасну подачу повітря для інтенсифікації горіння в основній камері згорання сумісно зі шнековою подачею деревної біомаси;
- використання економайзерної колосникової решітки зменшує енергетичні затрати на підігрів води та затрати в металі на виготовлення самої колосникової решітки.

Висновки

1. Основною перевагою твердопаливного котла на деревній біомасі перед газовим котлом є низька вартість деревного палива (та/або відходів деревооброблення) порівняно із природним газом.
2. Досліджено теплотехнічні та кінетичні параметри групи порід, які широко використовують як паливо для спалювання у твердопаливних котлах, та удосконалено математичну модель спалювання подрібненої деревної біомаси. Наявність такої моделі та експериментально

отриманих значень кінетичних параметрів окремих порід створює базу для дослідження процесу спалювання не тільки окремих чистих порід, а і їх сумішей. Отже, підготовлено теоретичну базу для аналізу процесів спалювання сумішей деревної біомаси названих порід та удосконалення відповідних паливних пристроїв.

3. На основі результатів проведених досліджень розроблено конструкцію паливни для забезпечення максимального ККД під час спалювання подрібненої деревної біомаси.
4. Застосування удосконаленої конструкції паливни, а також модульного принципу побудови, дають змогу побудувати ефективну котельню на основі спалювання подрібненої деревної біомаси.

Перелік використаних джерел

- Dumych, V., & Paskaryk, V. (2013). Proekt vykorystannya tverdogo biopalyva dlya opalennya ob'ektiv vyrobnychoyi i sotsialnoyi sfery v silskiy mistsevoosti. *Tekhniko-tehnologichni aspekty rozvytku ta vyprobuvannya novoyi tekhniki i tekhnolohiy dlya silskoho hospodarstva Ukrainy*, 17(2), 310–318. Retrieved from: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ttar_2013_17\(2\)_41](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ttar_2013_17(2)_41). [in Ukrainian].
- Geletukha, G. G., & Zhelezynaya, T. A. (1999). Obzor sovremennykh tekhnologiy szhiganiya drevesiny s tselyu vyrabotki tepla i elektroenergii. *Ekotekhnologii resursoberezeniye*, 5(1), 34–39. [in Ukrainian].
- Hnatyshyn, Y., Yalchko, V., & Mukha, O. (2013). Mathematical modeling influence of properties of biofuel on burning process. *Zbornik vedeckých prác v rámci projektu Nové technológie pre energeticky environmentálne a ekonomicky efektívne zhodnocovanie biomasy ITMS: 26220220063. Medzinárodná Vedecká Konferencia A Otvorenie Centra Vvich – 06.-08.11.2013, VVICB – Kapušany pri Preňove, Bardejovské Kúpele*. 70 p.
- Mysak, Y. S., Yalchko, V. I., Yurasova, O. G., Hnatyshyn, Y. M., & Mukha, O. V. (2017). Heat capacity of biomass. *Ninth international scientific-practical conference – Renewable energy sources as alternative to primary energy sources in region: Volume of scientific papers*, (pp. 140–141), 6-7 of April, Lviv.
- Yalchko, V. I., & Hnatyshyn, Y. M. (2014). Kamerna palyvna dlya spaluvannya derevnoyi biomasy. *Patent Ukrainy na korysnu model №93790, МПК F27B 3/04 (2006.01), 10.10.2014, Bulletin №19*. [in Ukrainian].
- Yalchko, V. I., Kochubey, V. V., Hnatyshyn, Y. M., & Pavlovskiy, Yu. P. (2016a). Thermal analysis wood of willow *Salix Viminalis*. *Scientific Bulletin of UNFU*, 26(4), 247–251.
- Yalchko, V., Kochubey, V., Hnatyshyn, Y., Dzyadevych, B., & Zaykov, G. E. (2016b). Investigation of Thermal Power Characteristics of Wood Pulp. *The Chemistry and Physics of Engineering Materials – Two Volume Set, 1: Modern Analytical Methodologies*, (pp. 171–178). Apple Academic Press, USA.
- Yalchko, V., Kutsyk, A., Kens, I., Hnatyshyn, Y., & Mukha, O. (2013). Research of burning process of fast-growing wood on a computer. *Seventh international scientific-practical conference – Renewable energy sources as alternative to primary energy sources in region: Volume of scientific papers*, (pp. 132–134), 10-11 of April. Lviv: UNFU.
- Yalchkom, V. I., Hnatyshyn, Y. M., & Mukha, O. V. (2013). Do pytannya vykorystannya derevnoyi biomasy. *Oil and Gas Power Engineering: International Scientific-Technical Conference*, (pp. 200–202), 7-11 of October 2013 p. Ivano-Frankivsk. [in Ukrainian].

В. И. Ялечко¹, Ф. Д. Матико¹, Я. М. Гнатышин²

¹ Національний університет "Львівська політехніка", г. Львів, Україна

² Національний лесотехнічний університет України, г. Львів, Україна

КОТЕЛЬНАЯ НА ОСНОВЕ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ ТОПКИ ПОВЫШЕННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Для обеспечения технологичности изготовления оборудования котельной, сокращения объема монтажных работ, повышение уровня ремонтпригодности и удобства обслуживания, а также эффективности, оборудования котельной предложено сгруппировать в модуле на основе котлов небольшой мощности. Учитывая технические особенности известных технологий сжигания топлива, можно утверждать, что для котлов небольшой мощности оптимальным решением является сжигание ло-

кальных твердых видов топлива – биомассы. Выполнен расчет экономичности замещения древесным топливом природного газа для котлов мощностью 1-2 МВт (наиболее распространены котлы для энергообеспечения коммунально-бытовых и промышленных предприятий). Для оценки энергетической ценности древесины и ее отходов исследованы теплотехнические и кинетические параметры группы пород, которые широко используются в качестве топлива для сжигания в твердотопливных котлах, и усовершенствована математическая модель сжигания измельченной древесной биомассы. На основе результатов проведенных исследований разработана конструкция топки для обеспечения максимального КПД при сжигании измельченной древесной биомассы. Применение усовершенствованной конструкции топки, а также модульного принципа построения, дают возможность построения эффективной котельной на основе сжигания измельченной древесной биомассы.

Ключевые слова: процесс сжигания; древесная биомасса; кинетические параметры; математическая модель; топочное устройство.

V. I. Yalachko¹, F. D. Matiko¹, Ya. M. Hnatyshyn²

¹ Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

² Ukrainian National Forestry University, Lviv, Ukraine

BOILER HOUSE BASED ON IMPROVED FURNACE OF HIGH EFFICIENCY

Forecasting the further development of the economics and power engineering on the basis of modern effective technologies we can conclude that it is possible to replace nuclear and fossil fuels with renewable energy sources. The results of calculation of the amount of wood that is needed for the boilers with different efficiency are presented in the paper. We found that the main advantage of a solid fuel boiler over a gas boiler is the low cost of non-traditional types of fuel (wood and its wastes) compared to natural gas. It is necessary to take into account physical-mechanical and heat-engineering characteristics of fuel in order to increase the energy efficiency of biomass combustion and to reduce the level of pollutants. We analyzed the wood breeds which are widely used as fuel in the solid fuel boilers particularly pine, birch, aspen, alder, fast growing willow (*Salix Viminalis*). The mathematical modelling of combustion process of various wood breeds was carried out. The modelling results and the experimental values of the kinetic parameters of individual wood breeds are the basis for the investigation of the process of burning both pure breeds and their mixtures. The design of chamber furnace for burning of chopped wood biomass is developed by the authors in order to ensure the efficient and complete combustion. It has two protrusions to create a whirl in the main combustion chamber and the additional burner in the post-combustion chamber which creates an additional whirl of the wood mixture. The proposed furnace allows to increase the time of staying of fuel particles in the combustion volume. The applying of the improved furnace design as well as the modular construction principle make it possible to build an efficient boiler-house based on combustion of chopped wood biomass.

Keywords: combustion process; wood biomass; kinetic parameters; mathematical model; fuel device.