

Технічні науки

УДК 662.6

Філатов Володимир Іванович

кандидат технічних наук

Національний технічний університет України

"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Филатов Владимир Иванович

кандидат технических наук

Национальный технический университет Украины

"Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского"

Filatov Volodymyr

Candidate of Technical Sciences

National Technical University of Ukraine

"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

Тишко Олександр Юрійович

магістр

Національного технічного університету України

"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Тышко Александр Юрьевич

магистр

Национального технического университета Украины

"Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского"

Tyshko Oleksandr

Master of the

National Technical University of Ukraine

"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

**СУМІСНЕ СПАЛЮВАННЯ БІОМАСИ ТА АНТРАЦИТУ В
ПАРОВОМУ КОТЛІ БЛОКУ 300 МВт**

**СОВМЕСТНОЕ СЖИГАНИЕ БИОМАССЫ И АНТРАЦИТА В
ПАРОВОМ КОТЛЕ БЛОКА 300 МВт
COMBINED COMBUSTION OF BIOMASS AND ANTHRACITE IN THE
STEAM BOILER OF UNIT 300MW**

***Анотація.** В даній статті розглянута можливість генерації електричної енергії на теплових електростанціях з пиловугільними паровими котлами великої паропроодуктивності при сумісному спалюванні кам'яного вугілля (антрациту) і біомаси. На принциповому рівні були розглянуті питання технічної можливості та економічної ефективності такої технології спалювання. Визначено, що для цього потребується створення додаткової інфраструктури в межах схеми приготування і подачі біопалива для спалювання. Виконані теплові розрахунки котла при використанні в якості біомаси відходів кукурудзи і деревини для варіантів, коли біомаса подавалась для спалювання у процентних співвідношеннях 5, 10, 15, 20 та 25% від загальної кількості тепла, що генерується паливом. Розрахунки показують, що при сумісному спалюванні біомаси, економія може складати від 2 до 20% коштів у порівнянні з роботою котла тільки на вугіллі.*

***Ключові слова:** біомаса, антрацит, відходи кукурудзи, відходи деревини, паровий котел, система пилоприготування, сумісне спалювання.*

***Аннотация.** В данной статье рассмотрена возможность генерации электрической энергии на тепловых электростанциях с пылеугольными паровыми котлами большой паропроизводительности при совместном сжигании каменного угля (антрацита) и биомассы. На принципиальном уровне были рассмотрены вопросы технической возможности и экономической эффективности такой технологии сжигания. Определено, что для этого требуется создание дополнительной инфраструктуры в пределах схемы приготовления и подачи биотоплива для сжигания. Выполнены тепловые расчеты котла при использовании в качестве*

биомассы отходов кукурузы и древесины для вариантов, когда биомасса подавалась для сжигания в процентных соотношениях 5, 10, 15, 20 и 25% от общего количества тепла, генерируемого топливом. Расчеты показывают, что при совместном сжигании биомассы, экономия может составлять от 2 до 20% средств по сравнению с работой котла только на угле.

Ключевые слова: биомасса, антрацит, отходы кукурузы, отходы древесины, паровой котел, система пылеприготовления, совместное сжигание.

Summary. In the given article, the technology of industrial production of thermal energy from solid biofuels is considered on the example of modern heat generating equipment and auxiliary equipment. To determine the biomass diversity, an analysis was carried out on potential biomass types, which makes it possible to make a general assessment of feasibility and cost-effectiveness [1]. Therefore, from the point of view of fuel quality the most rational is the use of wood and corn waste. At the same time, such technology requires the development of a new infrastructure for feeding and fuel-preparation of biofuels. The scheme was developed on the basis of feeding biofuels directly to burners with anthracite, as domestic and foreign experience shows that such schemes work quite successfully. Calculations show that with the co-combustion of corn, you can save from 2 to 14% of funds when burning only one anthracite, as well as saving on burning wood waste - from 5 to 20%, depending on the proportion of anthracite replacement by heat. Calculations were made in percentages of adding biomass from 5,10,15,20 and 25%.

Key words: biomass, anthracite, corn waste, wood waste, steam boiler, system fuel-preparation, combined combustion.

Вступ. Актуальність використання біомаси в якості основного виду палива постійно зростає. Це пов'язано зі значним підвищенням вартості

природного газу та дефіцитом окремих видів твердого палива, в першу чергу вугілля антрацитової групи. Подорожчання традиційних палив стимулює використання біомаси в якості палива не тільки в приватному секторі, та в комунальному теплопостачальному господарстві, як при генерації електроенергії на спеціально спроектованих міні-ТЕС, так і на потужних електростанціях. Більш того, перевагами даної технології спалювання являються також:

- мінімальні витрати на капітальне будівництво, оскільки спалювання біомаси відбувається в уже існуючих котлах і потребує тільки створення окремої системи складування, транспортування, та підготовки біомаси для спалювання;
- зменшення викидів забруднюючих речовин у довкілля, оскільки біомаса є CO₂-нейтральним паливом, має значно нижчий (у порівнянні з вітчизняним вугіллям) вміст сірки та сполук азоту;
- зменшення вироблення тепла та електроенергії за рахунок викопного палива;
- утилізація відходів різних виробництв і тим самим зменшення забруднення навколишнього середовища;
- економічна доцільність використання біомаси у вугільних котлоагрегатах при наявності відповідного законодавства («зелений тариф», плата за скидання біомаси у відвали, тощо).

В даний час не існують твердопаливні котли великої потужності, що працюють на біомасі. Це пояснюється як вимогами до конструкції таких котлів, так і можливими сезонними коливаннями кількості потенційного палива. Тому не менш цікавим є питання, впровадження модернізації уже працюючих котлів з частковою заміною базового палива на біомасу, в рамках забезпечення економічної вигоди та зменшення витрат на вугілля. Така технологія потребує попередньо техніко-економічного розрахунку, обґрунтування, аналізу наявності достатнього біопалива для його

впровадження, та розробку схеми паливо- та пилоподачі частки біомаси в топку котла.

Постановка задачі. Сумісне спалювання вугілля і біомаси в потужних енергетичних котлах можливо здійснювати шляхом модернізації діючих електростанцій. Цей шлях в даний час є більш прийнятний для України.

Рішення щодо здійснення сумісного спалювання антрациту і біомаси може бути прийняте тільки в разі визначення технічної можливості і економічної доцільності такого заходу.

Технічна можливість визначається наступними чинниками:

- наявністю біомаси прийнятної якості в тій кількості, що дозволить забезпечити постійну роботу потужного енергоблоку впродовж періоду тривалого часу;
- технічною можливістю модернізації діючої та/чи створення нової інфраструктури (паливного господарства), що забезпечить процес подачі біомаси на електростанції від приймальних пристроїв до безпосередньо пальників котла.

Обґрунтування економічної доцільності визначається техніко-економічними показниками котла при його роботі на новому (сумісному) паливі. Оскільки проведення експериментів на реальних установках пов'язане зі значними матеріальними та часовими затратами, що значно обмежує можливу кількість дослідів, постає завдання виконання варіантних теплових розрахунків котла при сумісному спалюванні біомаси і вугілля з метою визначення техніко-економічного обґрунтування.

Для визначення наявності біомаси був проведений аналіз щодо потенціальних видів біомаси, який дає змогу провести загальну оцінку доцільності та економічності [1]. При проведенні аналізу було прийнято допущення, що для використання при сумісному спалюванні в енергетичних котлах буде використовуватись 50% від наявності доступного палива. Такий підхід служить гарантією наявності достатнього запасу палива. Іншими

словами, навіть якщо потенціал для енергетичного використання біомаси на перший погляд здається високим, про економічну доцільність і життєздатність проекту використання енергії біомаси можна говорити лише в тому випадку, якщо наявні запаси біомаси в районі його реалізації в 3-4 рази перевищують рівень розрахункової потреби. Результати аналізу наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Показники найбільш вигідного використання типу біомаси

Характеристика виду біопалива	Тип біомаси			
	Солома зернових культур	Відходи виробництва кукурудзи на зерно (стебла, стрижні)	Деревна біомаса (дрова, парубкові залишки, віходи деревооброби)	Вторинні відходи с/г (лушпиння, жом)
Річний запас біомаси в Україні, млн.т/рік	30,6	40,2	4,2	6,9
Q_n^p , кДж/м ³	18, 800	15, 500	12, 600	16, 400
*Часова витрата, т/ч	12,6	15,3	16,2	14,5
**Необхідна кількість палива в рік на один котел, т/рік	88200	107100	113400	101500

* – при використанні 10% біомаси при сумісному спалюванні по теплу

** – при тривалості експлуатації 7000 год/рік

Важливими паливними характеристиками біомаси, що використовують як тверде паливо, є її теплотворна здатність, вологість, зольність та температура плавлення золи, що впливає на якість та процес горіння у камері котла та поверхонь нагріву. Як відомо, температури плавлення золи соломи зернових культур і лушпиння соняшника складає близько 800 °С, при зольності у межах до 3%, що є достатньо високим показником. Така особливість палива може призвести до шлакування поверхонь нагріву котла, що призводить у подальшому зниження коефіцієнту тепловіддачі поверхонь і відповідно ефективності роботи котла. Тому, з точки зору паливної якості найбільш раціональним є використання деревини та відходи кукурудзи.

В межах визначення технічної можливості щодо діючої та/чи створення нової інфраструктури (паливного господарства), що забезпечить процес подачі біомаси на електростанції була розроблена принципова схема сумісного паливного господарства енергоблоку. За основу були прийняті матеріали уже впроваджені та практично довірені схеми, що використовуються [2,3]. Данна схема паливо-приготування представлена на рис. 1.

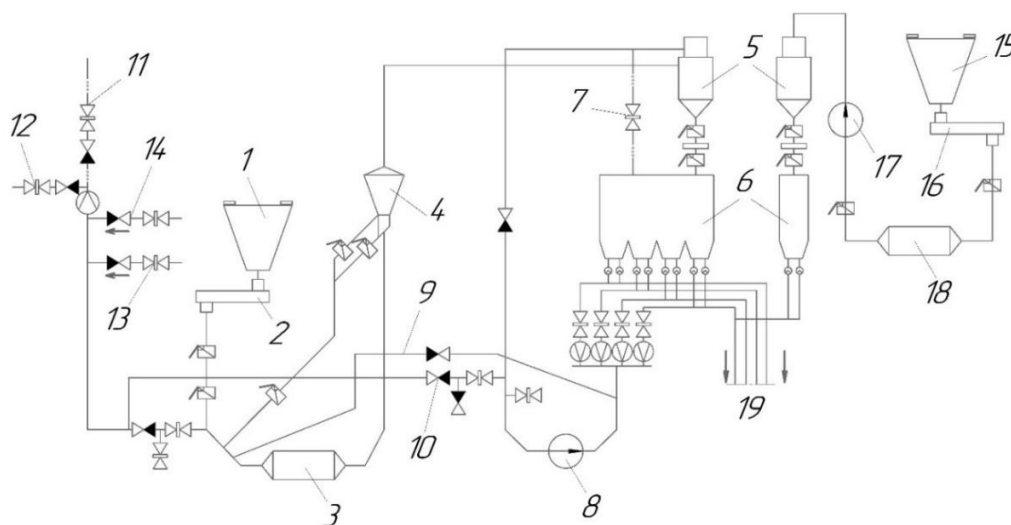


Рис. 1. Система пилоприготування котла:

1 – бункер сирого вугілля; 2 – стрічковий живильник сирого вугілля; 3 – млин; 4 – сепаратор; 5 – циклон; 6 – бункер пилу; 7 – вологовідсмок з бункера пилу; 8 – млиновий вентилятор; 9 – лінія рециркуляції; 10 – байпас пилосистеми; 11 – гаряче повітря після повітряпідігрівача; 12 – присадка холодного повітря від дуттьового вентилятора; 13 – гарячі димові гази з газоходу після водяного економайзера від димосмоку рециркуляції газів; 14 – холодні димові гази з газоходу після осьового димосмоку котла від димосмоку присадки газів; 15 – бункер сирого палива біомаси; 16 – стрічковий живильник біомаси; 17 – дуттьовий вентилятор; 18 – молотковий млин з сепаратором ; 19 – пилопроводи до пальників

Подача базового палива сумісно з біомасою, можлива безпосередньо в пальник. Для того щоб організувати подачу біомаси, необхідна організація окремого паливогосподарства на тепловій станції.

Зазначена схема є комбінацією традиційної схеми паливоподачі з елементами, що призначені для підготовки до спалювання і подачі в пилові бункери біомаси. До таких елементів відносяться: бункер сирого палива біомаси, стрічковий живильник біомаси, вентилятор, молотковий млин, пилопроводи до пальників.

Для визначення техніко-економічних показників котла при сумісному спалюванні були проведені варіантні теплові розрахунки котла. В якості прототипу був використаний котел ТПП-312А. Тепловий розрахунок проводився за методикою, визначеною в [4].

Результати розрахунків економічної ефективності. При виконанні розрахунків біли прийняті наступні допущення:

- в якості біопалива були прийняті кукурудза і деревина. Характеристика кожного виду палива представлена в табл. 2;
- розрахунки були проведені при заміні базового палива (по теплу) на 5%, 10%, 15%, 20% та 25% біомаси, для того щоб оцінити найбільш оптимальний вміст суміші, як по економічним так і по технічним характеристикам. данні результатів розрахунків представлені в табл. 3-4;
- вартість антрациту та біомаси була прийнята на основі середніх цін 2018 року, по зовнішнім джерелам [5; 6].

Таблиця 2

Характеристика палив

Вид палива	Характеристика палива			
	Q_n^p , кДж	W_t^r	A^r	$V_{dry}^{1,4}$
Антрацит	23571	5	24,7	7
Кукурудза	14653	16,1	6,8	75
Деревина	10467	40	0,6	5

Таблиця 3

Характеристика сумісного спалювання кукурудзи та антрациту

Характеристика	Відсоткова суміш кукурудзи у паливі при сумісному спалюванні					
	0%	5%	10%	15%	20%	25%
Теплота палива, кДж/кг	23571	23127	22679	22236	21788	21344
q ₂ , %	4.99	5.05	5.10	5.16	5.22	5.28
q ₄ , %	4	3.9	3.8	3.7	3.6	3.5
q ₆ , %	0.35	0.34	0.34	0.33	0.32	0.32
ККД КУ, %	90.46	90.51	90.56	90.61	90.66	90.71
Розрахункова витрата палива антрациту, В _р , т/год	118,6	112,6	106,7	100,8	94,9	88,9
Розрахункова витрата палива кукурудзи, В _р , т/год	–	6,4	12,8	18,7	24,7	30,6
Сумарна розрахункова витрата палива, В _р , кг/год	118 631	119 113	119 615	120 030	120 682	121 249
Паропроодуктивність котла, D, т/год	950	932	914	895	878	860
*Економія при сумісному спалюванні, грн/год	–	18 800	37 020	56 490	75 710	95 600

* - 3000 грн - ціна за тону кукурудзи, при ціні атрациту в 5800 грн/т

Таблиця 4

Характеристика сумісного спалювання деревини та антрациту

Характеристика	Відсоткова суміш деревини у паливі при сумісному спалюванні					
	0%	5%	10%	15%	20%	25%
Теплота палива, кДж/кг	23571	22918	22261	21608	20950	20297
q ₂ , %	4.99	5.04	5.09	5.14	5.19	5.25
q ₄ , %	4	3.9	3.8	3.7	3.6	3.5
q ₆ , %	0.35	0.34	0.34	0.33	0.32	0.31
ККД КУ, %	90.46	90.52	90.58	90.63	90.69	90.74
Розрахункова витрата палива антрациту, В _р , т/год	118,6	112,6	106,7	100,8	94,9	88,9
Розрахункова витрата палива кукурудзи, В _р , т/год	–	6	12,7	18,6	24,5	30,5
Сумарна розрахункова витрата палива, В _р ,	118 631	118 732	119 483	119 838	120 330	120 618

кг/год						
Паропродуктивність котла, D, т/год	950	918	892	862	833	802
*Економія при сумісному спалюванні, грн/год	–	34 794	56 320	84 640	112 960	141760

* - 1000 грн - ціна за тону кукурудзи, при ціні атрациту в 5800 грн/т

Для визначення граничних умов паропродуктивності котла були проведені теплові розрахунок на основі використання 100% кукурудзи та деревини. Розрахунок показав, що проектна паропродуктивність 950 т/год зменшується до 589 т/год і 347 т/год для кукурудзи і деревини відповідно.

При сумісному спалюванні антрациту з біомасою з 25%-м вмістом біомаси, паропродуктивність обмежується всього лиш на 10%, що є допустимим значенням, виходячи з того, що середнє навантаження енергоблоків ТЕС в даний час підтримується на рівні 80% від номінальної.

Результати розрахунків показують, що при додаванні долі біомаси, як відходів кукурудзи так і деревини, зростає не тільки економія у паливі, але й деякі технічні показники. Внаслідок цього ККД котла зростає від 0,05% до 0,28%, але втрати тепла з механічним недопалом та втрати тепла із-за видалення золи і шлаку у топці зменшуються, що призведе до зменшення процесів шлакування поверхонь то більшого терміну експлуатації.

Використання частки палива з великим виходом летючих дозволяє знизити вірогідність використання підсвітки топки природним газом при зниженні якості основного палива.

Основною перевагою спільного спалювання є використання вже існуючого котельного обладнання, що спалює вугілля, що забезпечує найменші капітальні витрати в порівнянні з будівництвом нових котлоагрегатів. Технологія також забезпечує гнучкість використання, дозволяє утилізувати значну кількість біомаси, частково замінити викопне паливо відновлювальним (зазвичай до 20% по масі) CO₂ нейтральним паливом, а також знизити викиди паливних оксидів азоту і оксидів сірки

(вміст сірки і азоту в твердій біомасі в середньому в 10 разів нижче ніж у вугіллі).

Висновки. Аналіз кількості біопалива в Україні показує, що біоенергетичний потенціал достатній для забезпечення потрібного постачання для сумісного спалювання в енергетичному котлі біомаси.

Процес сумісного спалювання не потребує унікальної схеми пилоприготування та пилоподачі палива. За допомогою аналізу європейського та вітчизняного досвіду сумісного спалювання були виконані принципові ідеї схеми паливоприготування, що є сумісною з існуючою схемою пилеприготування енергобоку ТЕС, що працює на антрациті. Зазначена схема передбачає подачу частки біомаси безпосередньо у пальники.

Проведені розрахунки показують економічну доцільність технології спільного спалювання вугілля і біомаси на діючих пиловугільних котлоагрегатах. В той самий час остаточне визначення оптимального співвідношення часток сумісних палив повинно бути встановлення шляхом проведення промислового експерименту та перевірки.

Література

1. Сільське господарство України. Статистичний збірник 2012. Державна служба статистики України [на укр. яз] <http://www.ukrstat.gov.ua/>
2. Дунаєвська Н.І., Засядько Я.І., Шупік І.С., Щудло Т.С. Огляд технологій спільного спалювання біомаси і вугілля в пиловугільних топках / Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2007. - № 3. – с. 3-8.
3. Dunaievskaya N., Chernyavskiy M., Shchudlo T. Co-combustion of solid biomass in pulverized anthracite-coal firing boilers // Ukrainian Food Journal. – 2016. - Vol. 5. – p. 748-764.

4. Тепловой расчет котельных агрегатов. Нормативный метод.- М.: Энергия, 1973.
5. "ООО УКРРЕСУРС." Якісне вугілля марок Антрацит, Т і ДГ з доставкою по Києву і області [Електронний ресурс] / "ООО УКРРЕСУРС" / Kievugol.com.ua – 2018. – Режим доступу: http://kievugol.com.ua/?gclid=Cj0KCQjwv73VBRCdARIsAOnG8u2seQ8axI3PnCHCGM-e_wxtWeaV95To480NAEuJhC6_uq3c9-Y8fcgaAmQEEALw_wcB
6. Agro-Ukraine. Дошка агро оголошень України. [Електронний ресурс] / Agro-Ukraine / agro-ukraine.com – 2018. – Режим доступу: <http://agro-ukraine.com/ua/trade/m-404537/kukurudza-vidkhodi/>