

## ЕНЕРГЕТИКА ТА НОВІ ЕНЕРГОГЕНЕРУЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 662.6

І.В. Безценний, Д.Л. Бондзик, Т.С. Щудло, Л.П. Плюсова, Н.І. Дунаєвська

### ДОСЛІДЖЕННЯ ВИГОРЯННЯ СУМІШЕЙ АНТРАЦИТУ І ГАЗОВОГО ВУГІЛЛЯ

This article examines the influence of bituminous coal to burn-out of its mixture with anthracite in the torch. Experiments were conducted at the Institute of Coal Energy Technology under the NAS of the Ukraine at the ВГП-100В facility, which models the processes in the ignition area for burners and the lower radiation part of furnace. The blends were burned with the addition of 10%, 20% and 30% of bituminous coal to anthracite of total mass and specific coals. We prove the possibility of improving the burning-out of carbon coal blends. Our experiments confirm the existence of synergistic effect in the process of burning coal blends of varying levels of metamorphism.

#### Вступ

Більшість антрацитових котлів ТЕС України у випадку роботи на вугіллі з проектними характеристиками працюють з ККД 83,1–83,5 % [1] внаслідок фізичного зношення обладнання та несвоечасних ремонтів. Нині на деяких антрацитових блоках доводиться спалювати пісне вугілля, яке має вищу реакційну здатність. Але видобуток і запаси пісного вугілля в Україні обмежені, щоб забезпечити ним усі антрацитові блоки. З метою покращення умов запалювання антрациту на ГЗФ “Слов’яносербська” організовано виробництво вугілля марки “Г/А 0–100мм енергетичне” [2] – суміші газового вугілля та антрациту, яке має вихід легких речовин, близький до пісного вугілля. Таким чином, з’явилась можливість заміни пісного вугілля для спалювання його в суміші з антрацитом. Попри наявні ризики від використання газового вугілля на антрацитових ТЕС [2] видається перспективним залучення його сумішей з антрацитом до паливного балансу цих електростанцій, оскільки пісного вугілля в Україні видобувається більш ніж у два рази менше, ніж антрациту, і задовольнити потреби в ньому всіх антрацитових ТЕС не можливо. Для підтримання існуючих котлоагрегатів необхідно шукати нові шляхи покращення вигорання антрациту як основного енергетичного вугілля. Одним із можливих методів підвищення ефективності роботи котлоагрегатів є спалювання сумішей антрациту з іншими, більш реакційними марками вугілля (іншого ступеня метаморфізму). Такими марками вугілля можуть бути пісне (П) та газове (Г). Результати досліджень горіння сумішей антрациту та пісного вугілля вже були розглянуті нами у праці [3]. Пісне вугілля простіше застосовувати як домішку до антрациту через їх близькість за ступенем метаморфізму, воно може спалюва-

тись без переобладнання систем пилоприготування та пилоподачі.

#### Постановка задачі

Мета статті – дослідити вплив газового вугілля на вигорання його суміші з антрацитом у факелі.

#### Дослідження вигорання сумішей антрациту і газового вугілля

Експерименти зі спалювання сумішей проводились на установці ВГП-100В [4]. Установа моделює процеси, які відбуваються в зоні запалювання за пальниковим пристроєм і в нижній радіаційній частині топки. Вона містить вертикальний з низхідним потоком реактор довжиною 2,4 м, який складається з чотирьох секцій довжиною по 0,6 м і внутрішнім діаметром перших трьох 0,28 м та четвертої 0,2 м, пальниковий пристрій, шлакозбірник, поворотну ділянку з циклоном, камери охолодження та допалювання.

Пальниковий пристрій являє собою вертикальний водоохолоджуваний футерований циліндр внутрішнім діаметром 0,2 м і довжиною 0,5 м, встановлений на верхньому зрізі реактора, обладнаний двома пальниками. Основний газовий пальник встановлений з торця пальникового пристрою, а на його боковій стінці змонтований допоміжний газовий пальник.

Установа була модернізована для можливості одночасної подачі трьох видів палива. Для стабілізації факела в конструкцію установки було внесено кілька змін: точка подачі сумішей з подачі через бокову стінку пальникового пристрою була перенесена на подачу через завихрювач основного пальника; крім того, була модернізована система подачі повітря у першу секцію зі зміною радіальної подачі

повітря на тангенціальну, що створює закручений потік з напрямком обертання, протилежним напрямку обертання потоку, який створюється в лопатковому апараті основного пальника.

Вугільні суміші готувались заздалегідь для того, щоб точно витримати масові співвідношення. Готувались вони таким чином: додавалися зважені частки компонентів суміші в одну ємність, перемішувались у ній, а потім отримана суміш тричі пропускалась через віброситя для підвищення рівномірності.

У кожній секції діагностичної ділянки вимірювалась температура газів за допомогою термопар. Газова фаза для аналізу відбирається постійно на виході з реактора водоохолоджуванним пробовідбірним зондом. Час транспортування (час постійного запізнення) проби до газоаналізатора не перевищує 15 с. Тверда фаза відбиралась під час режимів на виході з реактора водоохолоджуванним зондом для відбору твердої фази.

Під час режимів контролювались такі параметри: витрата природного газу та повітря за кожним введенням; витрата вугільного пилу; температура газового потоку; розрідження в реакційній зоні.

Мас-спектрометр МХ-1215 використовувався для вимірювання складу продуктів згоряння на виході з реактора.

**Таблиця 1.** Характеристики пилу, який використовувався в експериментах

Вугілля	Технічний аналіз, %			$Q_n^p$ , МДж/кг
	$W_t^r$	$A_d$	$V^{daf}$	
Антрацит	1,15	29,68	6,67	22,69
Газове	5,5	24,98	40,55	21,54

Кожен режим тривав не менше 30 хв зі стабільними витратами реагентів, показами температур і газового аналізу.

**Таблиця 2.** Характеристика експериментальних режимів дослідження процесів спалювання сумішей антрациту і газового вугілля

Режим	Витрати реагентів				Температура газів, °С			
	Газ, нм <sup>3</sup> /год	Антрацит, кг/год	Газове вугілля, кг/год	Повітря, нм <sup>3</sup> /год	Секція 1	Секція 2	Секція 3	Секція 4
100 %АШ	0,72	16,45	0	114,72	1493	1569	1559	1273
90 %АШ/ 10 %Г	0,72	16	1,78	117,01	1460	1573	1626	1345
80 %АШ/ 20 %Г	0,72	14,34	3,585	131,16	1469	1519	1512	1291
70 %АШ/ 30 %Г	0,72	13,61	5,83	127,21	1452	1422	1307	1188
100 %Г	0,72	0	16,05	119,67	1464	1361	1275	1170

Для досліджень використовувались зразки вугільного пилу станційного розмелу, відібрані з пилосховищників Трипільської ТЕС (антрацит) і Ладизинської ТЕС (газове вугілля). Характеристики досліджуваного вугілля наведені в табл. 1.

Експеримент зі спалювання лише антрациту (режим 100 % АШ) проводився для відпрацювання методики експериментів, визначення мінімальної величини витрат природного газу, яка має бути незмінною для інших режимів для усунення ефекту впливу витрат "підсвічувального" газу на повноту вигорання вугілля. Після режиму окремого спалювання антрациту проводились експерименти зі спалювання трьох сумішей антрациту з газовим вугіллям у таких співвідношеннях: 0,9/0,1 (режим 90 %АШ/10 %Г); 0,8/0,2 (режим 80 %АШ/20 %Г) і 0,7/0,3 (режим 70 %АШ/30 %Г) відповідно. На заключному етапі проведення дослідів відпрацьовувався режим зі спалювання тільки газового вугілля (режим 100 %Г).

Витрати реагентів і температури газів за довжиною реактора в режимах дослідження вигорання сумішей антрациту та газового вугілля наведені в табл. 2.

Під час режиму спалювання антрациту була визначена величина витрати природного газу 0,72 нм<sup>3</sup>/год за умов стабільного горіння факелу – 5,57–6,89 % (табл. 3). Така витрата газу необхідна для підігрівання повітря, що запобігає заохолодженню реактора.

Щоб визначити, чи сприяє газове вугілля запалюванню та швидшому вигоранню антрациту, необхідно розглянути можливі варіанти процесів горіння:

- якщо компоненти суміші горять незалежно, тоді зольність відборів сумішей має дорівнювати середньозваженій зольностей відборів, отриманих при спалюванні антрациту та газового вугілля окремо;

Таблиця 3. Розрахункові параметри режимів спалювання сумішей антрациту і газового вугілля

Режим	Частка палива по теплу, %			Теплова потужність, кВт				Коефіцієнт надлишку повітря
	Газ	Антрацит	Газове вугілля	Газ	Антрацит	Газове вугілля	Загальна	
100 %АШ	6,42	93,58	0	7,11	103,69	0	110,80	1,066
90 %АШ/10 %Г	5,99	85,03	8,97	7,11	100,88	10,64	118,63	1,013
80 %АШ /20 %Г	5,98	75,98	18,03	7,11	90,4	21,45	118,96	1,13
70 %АШ /30 %Г	5,57	67,12	27,31	7,11	85,77	34,89	127,77	1,017
100 %Г	6,89	0	93,105	7,11	0	96,07	103,18	1,165

• якщо газове вугілля запалюється раніше і виділеної теплоти достатньо для раннього запалювання антрациту, то значення зольності відборів сумішей будуть вищі за середньозважені;

• якщо газове вугілля заважатиме горінню антрациту, значення зольності відборів для сумішей будуть нижчі за середньозважені зольностей відборів, отриманих при спалюванні антрациту та газового вугілля окремо.

Для визначення варіанта розвитку процесу запалювання та горіння під час проведення режимів здійснювався відбір леткої золи на рівні 2,1 м від початку діагностичної ділянки спеціальним зондом для відбору твердої фази. Результати технічного аналізу леткої золи наведені на рис. 1.

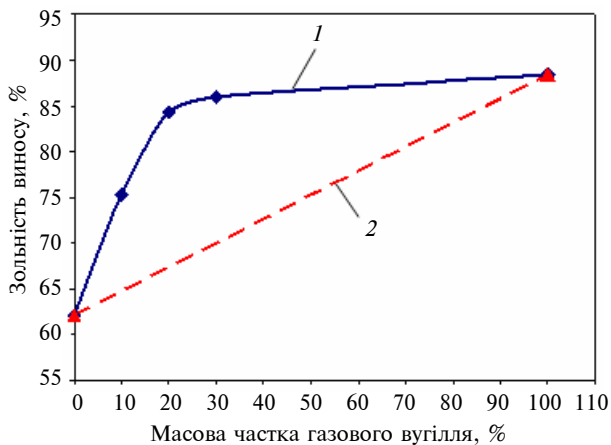


Рис. 1. Залежність зольності виносу від вмісту вугілля марки Г у сумішах: 1 – експеримент; 2 – залежність за умови відсутності синергічного ефекту

Крива зольності леткої золи, отриманої в результаті експерименту при спалюванні сумішей, проходить вище прямої, яка відображає умови незалежного горіння компонентів суміші, побудованої за значеннями зольності режимів 100 %АШ і 100 %Г. Експериментальна крива свідчить про наявність синергічного ефек-

ту між двома видами вугілля в сумішах у процесі їх горіння. Результати також підтверджують припущення про те, що газове вугілля сприяє запалюванню антрациту.

Додавання 10 % газового вугілля до антрациту збільшує зольність виносу на 10,5 % від розрахованої за умов відсутності взаємодії між компонентами (див. рис. 1), а додавання 20 % газового вугілля призводить до збільшення зольності виносу на 16,9 %. При додаванні 30 % газового вугілля зольність виносу збільшується лише на 16 % від розрахованої зольності для третього співвідношення за умов відсутності взаємодії між компонентами. Збільшення частки газового вугілля з 20 до 30 % практично не призводить до абсолютного приросту зольності виносу, а відносно відповідного значення залежності за умов відсутності синергічного ефекту показало зменшення приросту на 1 %. Отже, можна зробити висновок про те, що оптимальним співвідношенням є 80 % антрациту та 20 % газового вугілля. В результаті змішування з таким співвідношенням утворюється суміш з середнім виходом летких речовин  $V^{\text{daf}} = 13,4\%$ , що відповідає виходу летких речовин пісного вугілля.

Пояснити, як саме впливає додавання газового вугілля до антрациту на процес горіння сумішей, допоможе аналіз розподілення температур газів вздовж осі реактора по кожному режиму. Окремо слід відзначити, що стенд ВГП-100В є водоохолоджуваним, а також що в першій секції температури продуктів згорання вугілля не вимірювались, що відображається зниженням температури по всій довжині реактора.

За даними табл. 2 побудовано графік зміни температур газів по довжині реактора для п'ятих режимів (рис. 2).

З графіка видно, що антрацит горить з вищою температурою, ніж газове вугілля на всій довжині діагностичної ділянки. Темпера-

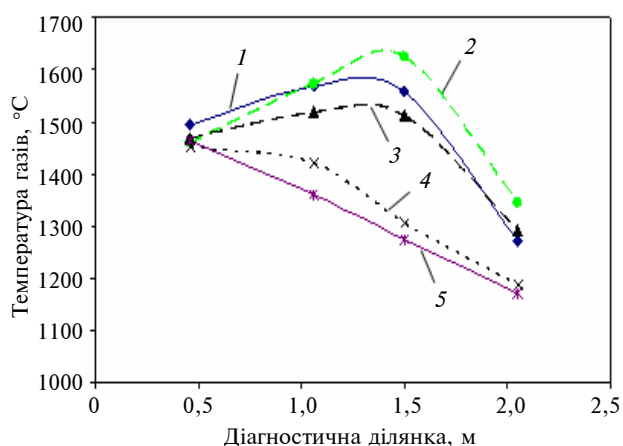


Рис. 2. Графік зміни температур газів по довжині реактора: 1 – 100 %АШ; 2 – 90 %АШ/10 %Г; 3 – 80 %АШ/20 %Г; 4 – 70 %АШ/30 %Г; 5 – 100 %Г

турний профіль суміші 90 %АШ/10 %Г подібний за формою до антрацитового, але температура у третій і четвертій секціях вища на 70 °С. Це можна пояснити додаванням реакційнішого вугілля, яке, запалюючись раніше, сприяло запалюванню антрациту. Температурний профіль суміші 80 %АШ/20 %Г за формою також подібний до антрацитового, але лежить нижче. Профіль температур суміші 70 %АШ/30 %Г по-

дібний до профілю газового вугілля. Крім температури у другій секції, це можна пояснити запалюванням антрациту, яке відбулося раніше, ніж в попередніх режимах.

### Висновки

Експерименти зі спалювання сумішей антрациту та газового вугілля довели можливість покращити вигоряння суміші порівняно з розрахованими значеннями за умов незалежного горіння її компонентів, що підтверджує існування синергічного ефекту в процесах горіння сумішей вугілля різного ступеня метаморфізму.

Суміш 20 % газового вугілля і 80 % антрациту за масою подібна до пісного вугілля за виходом летких речовин (12–13 %). Через те, що різниця між зольністю легкої золи в цьому експерименті та залежністю за умов відсутності синергічного ефекту найвища, зазначене співвідношення можна вважати оптимальним з точки зору покращення вигоряння такої суміші.

Оскільки при спалюванні сумішей АШ з пісним і газовим вугіллям були виявлені синергічні ефекти, для з'ясування їх причин необхідне подальше вивчення кінетичних характеристик спалювання сумішей твердих палив.

1. Майстренко О.Ю., Дунаєвська Н.І, Провалов О.Ю. Звіт про науково-дослідну роботу "Аналіз існуючих та розробка нових технічних рішень зі збільшення діапазону регулювання потужності котлоагрегатів ТПП-210А енергоблоків 300 МВт". – 2010. – С. 55 (№ держреєстрації 0110U005144).
2. Досвід експериментального спалювання вугілля Г/А на Трипільській ТЕС / В.Г. Дедов, О.М. Коземко, М.В. Чернявський та ін. // Энергетика та електрифікація. – 2010. – № 6. – С. 21–25.
3. Исследование стабильности горения смесей углей марок Т и АШ / И.В. Бесценный, Д.Л. Бондзик, Т.С. Щудло и др. // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2011. – № 2. – С. 7–11.
4. Чернявский Н.В., Дунаевская Н.И. Динамика конверсии малометаморфизированных углей при газификации в потоке // Труды Всесоюз. симпоз. "Проблемы газификации углей". – Красноярск: КАТЭКНИ-Иэнергетики, 1991. – С. 76–83.

Рекомендована Радою  
теплоенергетичного факультету  
НТУУ "КПІ"

Надійшла до редакції  
3 червня 2011 року