

## **В І Д Г У К**

офіційного опонента, д.т.н., зав.відділу технологій альтернативних палив Інституту газу НАН України П'яних К.Є.

на дисертаційну роботу Безценного Ігоря Валентиновича “Основні закономірності процесів спільного спалювання вугілля різного ступеня метаморфізму в факелі”, яку подано на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.06 – Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика

Дисертаційна робота Безценного І.В. присвячена вивченню особливостей процесів пиловидного спалювання сумішей антрациту з пісним та газовим вугіллям, визначенню умов ефективного використання таких сумішей у котлоагрегатах та впровадженню результатів дослідження з метою розширення паливної бази антрацитових ТЕС

Нижче представлено стислий аналіз дисертаційної роботи, наведено її ключові положення, перелічені основні позитивні якості та недоліки.

### **1. Актуальність обраної теми**

Половина з енергетичних котів великої потужності в Україні розраховані на використання вугілля з низьким вмістом летючих – антрациту та пісного вугілля. На теперішній час в достатній кількості такого палива в країні нема. При цьому є профіцит вугілля марок Г та ДГ, який видобувається у Дніпропетровській області та у Львівсько-Волинському басейні. В умовах жорсткого дефіциту часу та коштів проведено дослідження, яке дозволило суттєво (за даними автора на 40%) розширити паливну базу великої вугільної енергетики. Актуальність такої роботи та її вагу важко переоцінити - впровадження її результатів дозволило забезпечити країну електричною енергією без відключень. Споживання більше 300 тис. т вітчизняного газового вугілля на електростанціях це не тільки вироблена електрична енергія, це – робочі місця в вугільній галузі та економія коштів споживачів.

### **2. Коротка характеристика змісту роботи.**

#### **Структура та обсяг роботи.**

Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку

використаних джерел. Загальний обсяг роботи 152 стор., у тому числі 102 стор. основного тексту. В Додатках наведені 4 акти впровадження розробки. Дисертація містить 25 рисунків і 23 таблиці. Список використаних джерел становить 106 найменувань.

У *вступі* обґрунтовано актуальність залучення вугілля газової групи до паливної бази антрацитових ТЕС, сформульовано об'єкт та предмет дослідження, мету роботи, наведено її наукову новизну. Представлено практичне значення отриманих результатів, відомості про зв'язок роботи з науковими програмами і темами, наведено інформацію про особистий внесок здобувача.

Перший розділ присвячено аналізу стану енергетики України та проблемам паливо-енергетичного комплексу. Показано необхідність використання для спалювання в енергетичних котлах країни сумішей вугілля різних марок, наведено вітчизняний та закордонний досвід спалювання таких сумішей. Наведені сучасні уявлення щодо процесу пиловидного спалювання твердого палива, включаючи біомасу та стан досліджень кінетики реагування коксового залишку вугілля з киснем повітря. Показано обмеженість Нормативного методу теплового розрахунку котлів для спалювання вугільних сумішей. В розділі поставлені питання, що потребують вирішення для розробки методів розрахунку процесів пиловидного спалювання сумішей вугілля різного ступеню метаморфізму.

Другий розділ присвячено методам дослідження та опису конструкції та принципу дії експериментальних установок, які були використані в ході виконання роботи. Наведено методику проведення дослідження на установках РСК-1 (диференційний імпульсний реактор для дослідження кінетичних характеристик реагування коксового залишку вугілля з киснем повітря) та ВГП-100В (експериментально-технологічний стенд для дослідження спалювання пиловидного вугілля в потоці). Наведено оцінку похибок результатів дослідження.

Третій розділ містить опис аналітичних підходів та результати експериментальних досліджень вигорання коксових залишків енергетичного

вугілля марок АШ, П і Г та їх сумішей. Представлено результати та методику розрахунку питомої швидкості горіння коксового залишку в широкому діапазоні температур на основі отриманих констант. Наведено методику розрахунку динаміки вигоряння коксового залишку в потоці як для окремої марки вугілля, так і для бінарних сумішей.

За результатами досліджень визначено кінетичні характеристики швидкості взаємодії коксового залишку вугілля марок АШ, П та Г з киснем повітря та розроблено методи розрахунку динаміки горіння вугілля в потоці. Отримані константи було використано для розрахунку питомої швидкості горіння цих палив в діапазоні температур 900–2250 °С для середнього розміру частинок 0,05 мм. Показано, що за температур, близьких до 1500 °С, характерних для пиловидного спалювання з рідким шлаковидаленням, пиловидні частинки газового вугілля горять у зовнішньодифузійному режимі, а антрациту – у перехідному, де залежність швидкості горіння від температури значно сильніша. Таким чином збільшення температури факелу в діапазоні характерному для спалювання в агрегатах, розрахованих на рідке шлаковидалення, значно сильніше впливає на зростання швидкості горіння антрациту, ніж газового вугілля.

Отримані в розділі залежності, з поправкою на зміну концентрації кисню по ходу потоку та на різницю температур газу та частинок палива, що згоряє, були використані для розрахунку динаміки вигоряння коксового залишку при пиловидному спалюванні в потоці як для окремих марок вугілля, так і для їх сумішей з середнім розміром частинок до 0,1 мм.

Четвертий розділ присвячено застосуванню одержаних кінетичних характеристик та розроблених методик розрахунку динаміки горіння в потоці.

Результати попередніх досліджень були використані при розробці інженерного методу розрахунку динаміки пиловидного спалювання сумішей вугілля різних марок в неізотермічному потоці з урахуванням впливу зміни температури та концентрації кисню на швидкість горіння вугілля. За описаною методикою був здійснений розрахунок динаміки вигоряння сумішей вугілля марок А та Г із вмістом газового вугілля від 0 до 100% для випадку потокового

реактора. Результати розрахунків представлені в табличній та графічній формі дозволили зробити важливий висновок про нелінійний характер залежності ступеню конверсії вугілля від частки вугілля різного ступеню метаморфізму в суміші, що спалюється. В неізотермічному потоці, незважаючи на зменшення концентрації окислювача, антрацитова складова у суміші АШ+Г вигоряє швидше, ніж антрацит окремо, тобто суміш АШ+Г згоряє швидше ніж підготовлений для спалювання антрацит.

Велику увагу в розділі приділено вдосконаленню нормативного методу теплового розрахунку задля коректного врахування спалювання сумішей вугілля різного ступеню метаморфізму. Показано, що методика нормативного методу, яка передбачає здійснення розрахунку суміші як вугілля з осередненими характеристиками не коректна. Запропоновано інший підхід, який враховує взаємний вплив компонент суміші на процес їх горіння. Розроблена методика, використана в позонному розрахунку топкового простору котла ТПП-210А дозволив оцінити температурні рівні в кожній зоні топки та визначити можливість забезпечення режиму рідкого шлаковидалення під час спалювання сумішей вугілля різного ступеню метаморфізму.

Наприкінці розділу наведено відомості про практичне використання результатів досліджень і розробок автора. Представлено результати використання сумішей антрациту на газового вугілля на Трипольській та Зміївській ТЕС. Показано, що робота на суміші АШ+Г у співвідношенні 75% на 25% дозволила зменшити механічний недопал на 0,1...0,9% та розширити діапазон робочих навантажень.

### **Наукова новизна і значимість отриманих результатів.**

Найбільш суттєві наукові результати роботи Безценного Ігоря Валентиновича полягають в наступному:

#### Наукова новизна одержаних результатів:

1. Встановлено межі квазістаціонарних ділянок вигорання і визначено кінетичні характеристики взаємодії коксу з киснем повітря у внутрішньокінетичній та внутрішньодифузійній областях реагування для

кокових залишків вугільного пилу марок А, П, Г та сумішей пилу марок А і П звичайного для ТЕС фракційного складу та зольності в ізотермічних умовах в діапазоні температур 380-630 °С.

2. Встановлено відсутність квазістаціонарних ділянок вигорання вуглецю для сумішей коксових залишків вугільного пилу марок А і Г, що пояснюється прискореним витрачанням більш реакційного компоненту, яке унеможливорює одержання кінетичних характеристик взаємодії з киснем повітря для сумішей.

3. Вперше показано, що криві вигорання сумішей в умовах надлишку кисню є середньозваженими кривих вигорання незалежно реагуючих компонентів, при цьому питома швидкість горіння суміші при кожній температурі відповідає середньозваженій питомій швидкості горіння компонентів. Таким чином доведено можливість розрахунку швидкості та ступеню вигорання паливної суміші за питомими швидкостями та ступенями вигорання компонентів.

4. Вперше теоретично показано і експериментально підтверджено вплив збільшення температури в зоні займання факелу після згорання летких речовин газового вугілля на зростання швидкості вигорання частинок антрациту над гальмуючим впливом зменшення концентрації кисню.

#### Обґрунтованість і достовірність основних положень дисертації.

Основні результати, положення і висновки дисертації базуються на результатах теоретичних і експериментальних досліджень. Дослідження проведені автором ґрунтуються на загально прийнятих фізичних уявленнях, а також сучасних досягнень теплофізики. Тому основні положення дисертаційної роботи слід визнати достовірними і обґрунтованими.

#### Практичне значення отриманих результатів.

1. На підставі результатів кінетичних досліджень розроблено метод розрахунку динаміки вигорання пиловидних сумішей вугілля різного ступеню метаморфізму в потоці. Метод, оснований на покроковому обчисленні ступенів вигорання компонентів і теплового балансу потоку, дозволяє визначити зменшення концентрації кисню та збільшення температури, використавши їх як початкових умов для наступного кроку.

2. Для різних співвідношень марок вугілля у пиловидній суміші АШ+Г вперше розраховано ступінь вигорання суміші в потоці за часом та по зонах перебування факелу в топковому просторі котлоагрегату ТПП-210А, одержано значення коефіцієнтів залежності ступеня вигорання сумішей антрациту з газовим вугіллям від вмісту газового вугілля в суміші. Доповнено довідкові дані Нормативного методу теплового розрахунку котлоагрегатів, що дозволило використати цей метод для повірочних позонних теплових розрахунків топкового простору в умовах пиловидного спалювання сумішей вугілля різного ступеню метаморфізму.

3. На підставі позонного теплового розрахунку топкового простору котлоагрегату ТПП-210А показано, що у разі пиловидного спалювання суміші антрациту з газовим вугіллям з часткою газового вугілля до 30% і виходом летких речовин суміші до 15%, що відповідає характеристикам пісного вугілля, при забезпеченні коефіцієнту надлишку витрати повітря в основних пальниках можливо забезпечити стале займання та горіння суміші зі ступенем вигорання більшим, ніж при спалюванні антрациту, та із забезпеченням температурних умов сталого рідкого шлаковидалення в діапазоні навантажень від номінального до 65%, що розширює діапазон регулювання навантажень для спалювання без підсвічування порівняно з антрацитом (100-70%).

4. Розроблено рекомендації щодо організації топкового режиму під час пилового спалюванні суміші антрациту з газовим вугіллям з виходом летких речовин до 15%, що відповідає пісному вугіллю, на котлоагрегатах ТЕС, що мають проектним паливом антрацит і пісне вугілля. Із застосуванням цих рекомендації на котлах ТП-100 та ТПП-210 Зміївської ТЕС у 2016 р. було використано майже 300 тис. т вітчизняного газового вугілля.

#### **Апробація результатів дисертації.**

Основні результати дисертації обговорено на міжнародних науково-практичних конференціях, а саме: 5-а (Алушта, 2009), 7-а (Алушта, 2011), 9-а (Алушта, 2013) та 11-а (Київ, 2015) Міжнародні науково-практичні конференції «Угольная теплоэнергетика: проблемы реабилитации и развития»; 5-а науково-практична конференція «Минеральная часть топлива, шлакование, очистка

котлов, улавливание и использование золы» (Челябінськ, Росія, 2011); 8-а Всеросійська конференція з міжнародною участю «Горение твердого топлива» (Новосибірськ, Росія, 2012); 12-а Міжнародна науково-практична конференція «Вугільна теплоенергетика: шляхи реконструкції та розвитку» (Київ, 2016).

**Публікації.** За темою дисертації опубліковано 20 робіт, в том числі: 1 стаття у журналі, що входить до наукометричної бази Scopus, 5 статей в спеціалізованих наукових журналах України, 5 статей у вітчизняних науково-технічних періодичних виданнях, 3 статті в закордонних спеціалізованих наукових журналах, 6 тез доповідей в збірках праць міжнародних науково-технічних конференцій.

Автореферат написано докладно, добре ілюстровано і він повністю відповідає змісту дисертації. Всі основні положення і висновки, що містяться в дисертації, відображені в авторефераті.

### **3. Зауваження по дисертації.**

1. Позначення на рис.3.2. не відповідають, підписам під рисунком та в тексті до нього (стор.79), що ускладнює розуміння наданої інформації. Ті самі дані в авторефераті наведені без помилок, але не зрозуміло чому крива 2, що відповідає швидкості вигорання коксового залишку вугілля АШ на рис.3а не повторюється на рис. 3б (автореферат) за однакових умов.

2. За даними таблиці 3.2 дослідження велись з коксовим залишком вугілля різних марок з зольністю 10,6 (АШ), 16,9 (П) та 33,6 (Г). При цьому наявність зольного залишку не може не впливати на швидкість вигорання коксового залишку, яка є предметом дослідження. Вплив цього фактору необхідно було врахувати.

Питання впливу зольності виникло також на етапі визначення кінетичних характеристик швидкості взаємодії коксового залишку з киснем, що з точки зору автора призвело до розбіжностей між результатами наведеного дослідження та літературним джерелами.

3. Не зрозуміле збільшення споживання природного газу для забезпечення спалювання вугілля марки Г по відношенню до вугілля марки АШ під час роботи реактора (Таблиця 4.4.). Для забезпечення стабільного спалювання вугілля марки Г необхідно більше природного газу?

4. Досить суттєва розбіжність розрахункових та експериментальних даних, отримана під час порівняння (рис. 4.6) потребує більш глибокого аналізу та представлення поправки до форми кривої, яка дає можливість врахувати зменшення середнього розміру часток пилу в експериментальному стенді.

Зазначені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку роботи, яка виконана на високому науковому рівні, є закінченим науковим дослідженням орієнтованим на вирішення важливої науково-технічної проблеми - вивченні особливостей процесів пиловидного спалювання сумішей вуглеподібних палив різного ступеню метаморфізму.

Викладене дозволяє вважати, що представлена дисертація повністю відповідає постанові Кабінету міністрів № 567 від 24.07 2013 та вимогам п. 9, 10 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника» МОН України щодо кандидатських дисертацій, а її автор Безценний Ігор Валентинович заслуговує присудження ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.06 – Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика.

Д.т.н., зав.відділу технологій  
альтернативних палив Інституту газу  
Національної академії наук України



К.Є.П'яних

“24” червня 2018 р.

Підпис д.т.н., П'яних К.Є. засвідчую

Вчений секретар  
Інституту газу НАН України  
к.т.н.



Б.К.Ільєнко

