

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Мисака Степана Йосифовича
«Підвищення ефективності роботи систем пиллоприготування котлів енергоблоків ТЕС при спалюванні непроєктних видів палива», представлену на здобуття наукового ступеню кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.06 – технічна теплофізика та промислова теплоенергетика

Загальна характеристика роботи.

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертаційної роботи без додатків складає більше 140 сторінок.

Актуальність теми дисертації.

Одним з ключових елементів роботи ТЕС при спалюванні вугілля є надійна, безпечна та ефективна робота системи пиллоприготування. Оскільки в 2014-2018 відбулися суттєві зміни в паливозабезпеченні ТЕС України з зменшенням надходження антрацитового та пісного вугілля, розширено використання сумішей різних марок вугілля, зокрема, антрацитового та газового, змінився його склад, якість та джерела походження, виникає задача оптимізації роботи теплових електростанцій на використання вугілля з відмінними від проектного характеристиками та вугільних сумішей. Відповідно, ціль приведеної дисертаційної роботи щодо підвищення ефективності роботи систем пиллоприготування котлів енергоблоків ТЕС при спалюванні вугілля з відмінними від проектного характеристиками на даний час є надзвичайно актуальною для вугільної теплоенергетики України.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Основні результати дисертаційної роботи автором одержано при виконанні НДР держбюджетної тематики за номером держаної реєстрації 0115U000439 та ряду господарських договорів за номерами реєстрації 332-3Э-БуТЭС/0514 від 26.08.2015, 0485 від 20.06.2014р та №1020-3Э-БуТЭС/0567 від 12.01.2017 р., а робота виконувалась за науковим напрямом кафедри «Теплотехніки теплових

та атомних електричних станцій» Національного університету «Львівська політехніка», за планами робіт ПрАТ «ЛьвівОРГРЕС».

Короткий аналіз змісту роботи.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, висвітлено причини зміни умов експлуатації теплових електростанцій та проблеми які виникли з забезпеченням ТЕС вугіллям і зміною його характеристик. Зазначено зв'язок роботи з науковими програмами та темами, визначено мету та основні задачі дослідження, об'єкт та предмет дослідження. Наведено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, вказано де впроваджено результати роботи та де здійснювалась апробація результатів дисертації, приведена кількість публікацій.

У **першому розділі** проаналізовано технічний стан устаткування теплової енергетики України, зокрема ресурс енергоблоків 200-300 МВт. Розглянуто напрямки розвитку енергетики України та галузей паливно-енергетичного комплексу. Проаналізовано споживання вугілля на ТЕС, та за допомогою добових графіків навантаження обґрунтовано, яку важливу роль відіграють ТЕС та їх стабільна робота для енергонезалежності України. Акцентовано, що в зв'язку з тимчасовим обмеженням постачання на ТЕС України вугілля АШ з вугільних шахт Донецького басейну постає питання про переведення енергоблоків, які спроектовані на даний вид палива, на вугілля з відмінними від проектного значення характеристиками. Відповідно, на основі аналізу інформації, що приведена в цьому розділі автором сформульовано задачі дослідження, результати яких приведені в дисертаційній роботі.

У **другому розділі** проведений технічний аналіз палива та проаналізована зміна структури споживання енергетичних ресурсів на ТЕС України з 1991 року. Приведена щодобова зміна характеристик вугілля, що спалювалось на Трипільській ТЕС під час експериментальних випробувань та порівняльний аналіз з проектними показниками та за останні 10 років. На основі проведеного технічного аналізу зроблено висновок, що використання низькоякісних палив в паливно-енергетичному балансі стає суттєвим, і в перспективі непроектне вугілля стане основним серед твердих органічних палив, що спалюють на ТЕС.

Проаналізовані фактори які впливають на підготовку вугільного пилу на ТЕС та вказано як зміна якості вугілля впливає на котельне устаткування, зокрема систему пилоприготування. При цьому аналіз вугілля проводився детально по кожній складовій палива, а саме визначалось як впливає вологість, зольність чи вихід летких речовин на процес горіння.

Експериментально встановлено, що робота котла на такому непроектному паливі зумовлює перевитрату вугілля в межах 20%. Розроблена програма проведення експериментального спалювання та запропоновано удосконалення основних положень, які потрібно враховувати при спалюванні непроектних видів палива. Змінюючи витрату повітря до пальників, було визначено критичні коефіцієнти надлишку повітря в режимному перерізі, при яких з'являються сліди хімічного недопалу палива. Критичний надлишок повітря в усьому діапазоні навантажень котла становив 1,08-1,09. Оптимальний надлишок повітря в режимному перерізі було вибрано з умов надійної роботи обладнання, задовільного плавлення жужелю, мінімального вмісту горючих у виносі і відсутності продуктів хімічного недопалу в димових газах та температури промперегріву максимально наближеної до номінальної. Встановлено, що температуру повітря перед РПП необхідно підтримувати на рівні 30°C для уникнення низькотемпературної корозії холодних пакетів РПП.

У **третьому розділі** було розглянуто та проаналізовано технічні характеристики та роботу пилосистем котлів ТП-92, ТП-100, ТПП-210А та ТПП-312. Приведені особливості експлуатації систем пилоприготування з кульовими барабанными млинами при спалюванні непроектних видів палива та, на основі експериментальних даних, розроблено аналітичні методи визначення зношення броні та куль. Визначено, що броня, що використовується в млинах в залежності від заводу виробника має різний фізичний ресурс (надходить з Білоозерська, Донецька і Дніпропетровська), при цьому відношення темпу зношення броні до темпу зношення куль є сталою величиною. На основі експериментальних даних визначено, що значення коефіцієнта M_n , для млина типу КБМ 370/850 (Ш-50А) при розмелюванні вугілля марки АШ і ГСШ буде рівним 0,069 і 0,073 відповідно. За існуючими даними для млинів з бронею

Білоозерського і Дніпропетровського виробництва коефіцієнти M_{II} рівні 0,05 і 0,1 відповідно. Відповідно, для своєчасного попередження збільшення маси куль в барабані необхідно під час визначення кульового завантаження млина, відповідним чином, врахувати фактичне зношення броні барабана. За результатами розрахунку побудовано залежність перевитрати куль ΔG_k від тривалості роботи млина і місця виробництва. Отримані аналітичні залежності дозволяють проводити діагностику роботи кульових барабанних млинів та планувати ремонтні роботи з більшою ефективністю.

У **четвертому розділі** приведено описання розроблених нових методів визначення продуктивності кульових барабанних млинів пиловугільних котлів потужних енергоблоків ТЕС та методів визначення часток складових суміші палива двох марок вугілля, а також алгоритми та програму розрахунку основних параметрів систем пилоприготування, як з промбункером так і без нього, блоків 150 – 300 МВт з котлами ТП-92, ТП-100, ТПП-210А, ТПП-312. Нові методи визначення продуктивності кульових барабанних млинів:

- метод визначення продуктивності млина в схемах з прямим вдуванням вугільного пилу полягає в заміні вугільного пилу на рівнозначну величину, наприклад, природнього газу або мазуту. При цьому кількість теплоти при згоранні природнього газу повинна бути рівнозначною кількості теплоти при згоранні вугілля до призупинення млина;

- метод визначення продуктивності КБМ з промбункером вугільного пилу реалізують шляхом визначення відношення витрати електроенергії на переміщення вугільного матеріалу в барабані до сталого значення показника витрати електроенергії на переміщення в барабані 1 т/год вугільного матеріалу. Відповідно, витрата електроенергії на розмелювання вугілля в режимі робочого ходу млина є сумою витрат електроенергії на обертання барабана з кульовим завантаженням і на переміщення в барабані вугільного матеріалу. Після звільнення барабана від вугільного матеріалу (неробочий хід млина) електроенергія витрачається тільки на обертання барабана з кульовим завантаженням;

- спосіб визначення продуктивності млина методом його зупинки. У випадку, коли немає резервного палива (природного газу або мазуту) продуктивність млина визначається наступним чином. Проводять зупинку одного досліджуваного млина при незмінному початковому завантаженні всіх інших працюючих млинів, і режим роботи решти працюючих пилосистем залишається без змін. При цьому парове навантаження (паропродуктивність) котла зменшиться на величину ΔG_n при незмінній ентальпії пари за котлом i_n та коефіцієнту корисної дії котла $\eta_{к.а}$. Тоді продуктивність зупиненого млина автор визначає за формулою:
$$B_{\text{вуг}} = \frac{\Delta G_n \cdot i_n}{\eta_{к.а} \cdot Q_{н(\text{вуг})}^p}$$
 де $B_{\text{вуг}}$ – продуктивність млина, кг/год; ΔG_n – зменшення продуктивності котла кг/год; i_n – ентальпія пари за котлом, ккал/кг; $Q_{н(\text{вуг})}^p$ – нижча теплота згорання вугілля, ккал/кг; $\eta_{к.а}$ – коефіцієнт корисної дії котельної установки.

Розроблено і запатентовано методи визначення часток складових двох видів палива за результатами хімічного аналізу вугільної проби, яку відбирають безпосередньо з вугільного потоку перед млином. В першому методі склад вугільної суміші знаходять за відомими значеннями вмісту летких речовин на горючу масу вугільної суміші та вмісту летких речовин на горючу масу кожної із марок вугілля, з яких складається суміш. Другий метод визначення часток складових суміші двох марок вугілля пилосистеми котла полягає у застосуванні відомої залежності, яка пов'язує склад вугільної суміші із нижчою теплотою згорання суміші палива на робочу масу та нижчою теплотою згорання вугілля двох марок палива. Розроблені алгоритми і програма розрахунку основних параметрів для різних пилосистем енергоблоків ТЕС.

Висновки по дисертації містять 7 пунктів, що логічно узагальнюють матеріали дисертації та співпадають з висновками автореферату.

Перелік використаної літератури складається з більш ніж 100 найменувань, причому кількість цитувань літератури, що вийшла за останні 10 років складає близько 25%, що для такого напрямку досліджень є високим показником.

Додатки включають інформацію щодо впровадження результатів дисертаційної роботи, приведені схеми замірів по пароводяному тракту котла та програми розрахунку основних технологічних параметрів системи пилоприготування.

Наукова новизна результатів роботи.

1. Сформульовано комплексну задачу аналізу ефективності роботи систем пилоприготування, яка полягає в сумісному врахуванні витрати палива у кульових барабанних млинах, визначенні величини присмоктів у пилопроводах, визначенні і корегуванні кульового завантаження, що дозволяє забезпечити номінальну проектну пилоподачу при мінімальній затраті електроенергії.
2. Вперше розроблені методи визначення продуктивності кульових барабанних млинів, які дозволяють мінімізувати трудозатрати виробничого персоналу і підвищити оперативність визначення продуктивності КБМ.
3. Уточнено аналітичний метод визначення зношення броні кульового барабанного млина, який дозволяє під час ремонту проводити часткову заміну броньових плит без повного відновлення броньового покриття циліндричної або торцевих поверхонь барабана і економити кошти на ремонт обладнання.
4. Розроблено метод визначення часток складових суміші двох марок вугілля пилосистеми котла, що дозволяє оперативно отримувати дані по складу вугільної суміші з метою корегування роботи систем пилоприготування, за рахунок подачі палива у порціях, які забезпечують підвищення ефективності роботи кульового барабанного млина та котла.
5. Уточнено алгоритм та розроблена програма розрахунку основних технологічних параметрів системи пилоприготування для котлів ТП-92, ТП-100, ТПП-210А, ТПП-312, які можна використовувати на більшості ТЕС України.

Ступінь обґрунтування наукових положень та їх достовірність.

Достовірність отриманих результатів та наукових положень забезпечено коректною постановкою мети і задач досліджень та апробацією основних

положень і результатів дисертаційного дослідження на міжнародних науково-практичних конференціях та конкурсах: Всеукраїнський конкурс «Молодь-енергетиці України» (м. Київ 2010р, 2011р, 2012р, 2013р), Науково-практична конференція. (м. Львів. – 7-8 квітня, 2011р.), Науково-технічна конференція «70-та студентська конференція». (м. Львів. – жовтень-листопад, 2012 р.), Міжнародна науково-практична конференція «Вугільна теплоенергетика». (м. Алушта. – 2013р.), Міжнародна науково-практична конференція «Нетрадиційні та поновлювані джерела енергії». (м. Львів. – 10-11 квітня, 2013 р.), Міжнародна науково-практична конференція. (м. Київ-Пуца-Водиця. – 18-22 вересня, 2014р.), Міжнародна науково-практична конференція «Нетрадиційні та поновлювані джерела енергії» (м. Львів. – 2015р.), Науково-технічна конференція «Дністер» (м. Львів. 20-22 квітня, 2016р). По темі дисертації опубліковано 24 наукові публікації, з них 10 статей у наукових фахових виданнях України, 3 статті у виданнях, які включені до міжнародних науково-метричних баз даних, отримано 7 Патентів України.

Практична цінність результатів роботи.

Розроблені методи застосовано для ефективного керування котельним устаткуванням під час спалювання палива з відмінними від проектних технічними характеристиками, а розроблені методи та алгоритми застосовано для збільшення ефективності роботи систем пилоприготування з кульовими барабанними млинами та роботи котельного устаткування в цілому за рахунок корегування фізико-механічних характеристик обладнання.

На Трипільській, Добротвірській, Зміївській ТЕС та ПрАТ «ЛьвівОРГРЕС» впроваджені наступні результати дисертаційної роботи:

- нові способи визначення продуктивності кульового барабанного млина;
- новий метод визначення часток складових суміші двох марок вугілля пилосистеми котла;
- уточнений алгоритм та програма розрахунку продуктивності пилосистеми котлів ТПП-210А, ТПП-312, яка дозволила автоматизувати процес розрахунків пилосистеми в повному обсязі;

- аналітичний метод визначення зношення броні та кульового завантаження кульового барабанного млина.

Усі впровадження підтверджені відповідними актами.

Особистий вклад здобувача.

Усі основні наукові положення та прикладні результати, що містяться у дисертаційній роботі, отримано здобувачем особисто. Серед них, виконано розширений аналіз літератури по існуючому котельному устаткуванні, зокрема системах пилоприготування; проведено дослідження роботи кульового барабанного млина; здобувач брав участь у експериментальному спалюванні непроектного палива на Трипільській ТЕС; розроблено нові методи визначення продуктивності млинів типу КБМ; проведено експериментальні дослідження та розроблено аналітичні методи визначення зношення броні кульового барабанного млина; здобувач приймав участь у розробці алгоритму та програми розрахунку основних технологічних параметрів системи пилоприготування котлів ТП-92, ТП-100, ТПП-210А, ТПП-312; розроблення методу визначення часток складових суміші двох марок вугілля.

Критичні зауваження до роботи.

1. Отримана розрахункова залежність перевитрати куль ΔG_k від тривалості роботи млина для виробників броні потребує порівняння з результатами фактичного зносу броні та пояснення в чому полягають відмінності між бронєю різних виробників. Також немає техніко-економічного обґрунтування використання броні різних виробників, можливо для ТЕС економічно-доцільніше купувати броню гіршої якості та замінювати її частіше.
2. Для трьох методів визначення продуктивності млинів не вказана похибка між фактичною продуктивністю та розрахунковою.

Загальні висновки по роботі.

Зроблені зауваження мають дискусійний характер і не можуть вплинути на достатній науковий рівень дисертаційної роботи, як закінченого науково-технічного дослідження.

Враховуючи значну актуальність теми, рівень виконання досліджень, достовірність, наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів, **вважаю**, що дисертаційна робота Мисака Степана Йосифовича «Підвищення ефективності роботи систем пилоприготування котлів енергоблоків ТЕС при спалюванні непроектних видів палива» відповідає вимогам Постанови КМУ «Про затвердження Порядку присудження наукових ступенів», а її автор **заслуговує** присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.06 – технічна теплофізика та промислова теплоенергетика.

Офіційний опонент, к.т.н.,
заступник директора
Інституту газу НАН України
з наукової роботи


_____ А.В. Сміхула

Підпис ЗАСВІДЧУЮ,
к.т.н., учений секретар Інституту газу НАН України


_____ Б.К. Ільєнко

