

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОБНИЦТВА ТА ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ

ISSN 1562-8965 (Online), ISSN 1562-8965 (Print). The problems of general energy. 2017, 4(51):61-66
doi: <https://doi.org/10.15407/pge2017.04.061>

УДК 622.613.124

Л.О. КЕСОВА^{1,2}, доктор техн. наук, професор, **Ю.М. ПОБІРОВСЬКИЙ**,
канд. техн. наук, **П.П. МЕРЕНГЕР**,

¹Національний технічний університет України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського»,

проспект Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна,

²Інститут загальної енергетики НАН України,
вул. Антоновича, 172, м. Київ, 03150, Україна

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СПАЛЮВАННЯ НИЗЬКОРЕАКЦІЙНОГО ВУГІЛЛЯ У ВИХРОВИХ ПАЛЬНИКАХ КОТЛІВ ПРИ ПИЛОПОДАЧІ З ВИСОКОЮ КОНЦЕНТРАЦІЄЮ ПІД ТИСКОМ

Наведено результати досліджень роботи вихрових пальників котла ТПП-210А енерго-блока 300 МВт при традиційній і висококонцентрованої пилоподачі з впливом цих технологій на ефективність спалювання низькорекційного вугілля. Оцінено ефект використання транспортуючого повітря при висококонцентрованої пилоподачі на роботу котла. Результати досліджень підтверджують можливість використання проектних пальників котла ТПП-210А при переводі котла на подачу пилу з високою концентрацією під тиском (ПВКт). Технологія ПВКт дозволяє підвищити ефективність роботи вихрових пальників, знизити хімічний і механічний недопал і підвищити ККД бруто котла в діапазоні регулювання на 0,383 – 1,02 %.

Ключові слова: котел, вихровий пальник, пилоподача, висока концентрація.

Спалювання низькорекційного вугілля марки АШ у вихрових пальниках котлів з рідким шлаковидаленням потребує високого рівня температур в топці та запалювання вугільного факела за короткий період часу. Процес спалювання пилу поділяється на дві характерні стадії: I – часом запалювання τ_{zn} від моменту надходження пилу в топку до його займання; II – часом вигорання коксового залишку $\tau_{вк}$. Більшу частину сумарного часу процесу становить τ_{zn} , а $\tau_{вк}$ практично не залежить від виду палива і становить при прийнятій тонкості помелу десятки частки секунди. Підвищення концентрації пилу на пальники помітно підвищує температуру в топці та знижує час запалення, однак це питання досліджено недостатньо [1,2].

В умовах традиційної системи пилоподачі – ТСП, концентрація пилу в первинному повітрі ($\mu = 0,5 - 0,6$ кг/кг), коливання якості та витрати палива впливають на повітряний режим пальника і оптимальну швидкість аеросуміші ($W_1 = 16-18$ м/с) в тракці первинного повітря від пилосживильника до пальника; іноді це не дозволяє забезпечувати необхідну зону рециркуляції гарячих газів в факелі пальника для запалювання пилу. Ефективна робота вихрового пальника потребує підтримання оптимального співвідношення швидкостей вторинного повітря (W_2) до первинного (W_1) в діапазоні $W_2 / W_1 = 1,3-1,5$ [2-4].

В роботах ВТІ, ЦКТІ показано, що підвищення ефективності спалювання вугільного пилу в вихрових пальниках можливо шляхом заміни традиційної системи пилоподачі

системою висококонцентрованої пилоподачі під тиском – ПВК_т [2,4].

Порівняльні дослідження спалювання пилу вугілля марки АШ при двох технологіях пилоподачі на пальники було виконано НТУУ «КПІ» на корпусі ЗБ котла ТПП-210А Трипільської ТЕС (Тп ТЕС), з використанням експериментального аераційного пилосильника із двома тійками для роботи при ПВК_т на пилопровід $D_y = 80$ мм і на пилопровід $D_y = 500$ мм при ТСП. Це дозволило провести дослідження роботи існуючих пальників і загальних характеристик топкового процесу при двох способах подачі вугільного пилу. В дослідженнях на Тп ТЕС місце вводу висококонцентрованого потоку в трубопровід первинного повітря вибрано на відстані 3,0–4,0 м від пальника, де має місце температурна і гідравлічна стабілізація потоку.

Впровадження ПВК_т на котлах ТПП-210А (Тп ТЕС) показало, що така система має переваги в організації процесу горіння. Так, завдяки малому діаметру транспортуючого пилопроводу ПВК_т, можливо забезпечити подачу вугільного пилу в будь-яке місце пальника або трубопроводу первинного повітря (рис.1). Крім того, без змін режиму транспорту є можливість впливати на початковий розподіл пилу в повітрі перед пальником і в самому пальнику при змінних режимі роботи котла.

Знімаються обмеження по витраті пилу на пальник (без впливу на повітряний режим). При ПВК_т досягнуто витрату палива на пальник до 12–16 т/год, що неможливо в умовах традиційної пилоподачі [5].

При дослідженнях на високореакційних паливах встановлена залежність щодо оцінки прискорення прогріву частинок пилу у висококонцентрованому потоці за рахунок променистого тепла топки на ділянці факела за пальником. Показано, що збільшення концентрації пилу на виході з пальника призводить до значного росту коефіцієнта поглинання променистого потоку, перпендикулярного струменю аеросуміші, що прискорює швидкість запалення пилу. При цьому, концентрація пилу впливає на процес запалення та горіння палива в топці сильніше, ніж інші режимні фактори [3].

У кожній серії дослідів фактори, що визначають топковий процес (теплове навантаження котла, характеристики палива, розрідження й присоси в топці, умови підсвічування факела мазутом, витрати первинного, вторинного повітря та ін.), підтримувалися незмінними. Температура під час дослідів вимірювалася трьома способами: платиноплатинородієвою термопарою в водоохолоджуемому зонді, оптичним пірометром і кремнієвим фотодіодом з реєстрацією від-

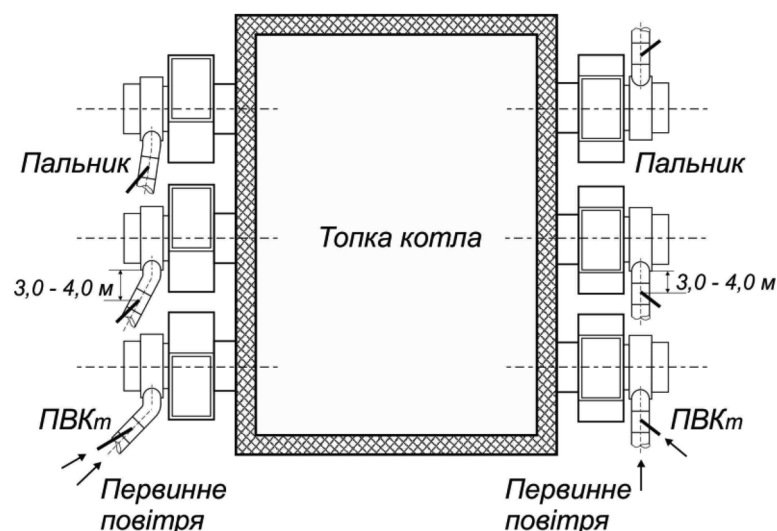


Рис. 1. Схема підведення пилопроводів ПВК_т до пальників котла ТПП-210А

носної світності факела. Оскільки характеристики топкового процесу визначаються організацією його в пальниках і в загальному об'ємі топки, була знайдена зона факела пальника, що слабо залежить від умов у топці, і характеристика, яка визначає процес у факелі. Дослідження показали, що, за інших рівних умов, важлива характеристика організації процесу в пальнику τ_{zn} однозначно корелюється з координатою X по осі факела, де температура по осі факела $t_{сф}$ досягає температури запалювання $t_{зп}$. Виміри показали, що зміна температурного рівня в прилягаючому до пальника об'ємі топки при різних схемах підсвічування не впливає на температуру по осі факела та у зоні зворотних струмів (функція $t_{сф} = f(X)$ практично не залежить від подальшого протікання процесу в топці). Разом з тим, зміни умов роботи пальника впливають як на характер кривої $t_{сф} = f(X)$, так і на параметри в об'ємі топки і його загальні показники [5].

Порівняльні дослідження роботи вихрових пальників і загальних характеристик топкового процесу при двох способах подачі пилу показали, що представницькою характеристикою, яка дозволяє зіставити різні способи організації процесу в пальнику, є температурний профіль по осі його факела. При традиційному пневмотранспорті розподіл пилу в первинному повітрі перед пальником і за ним не регулюється, а при ПВК_т початковий розподіл палива в повітрі перед пальником залежить від керованих і некерованих факторів у конкретних умовах експлуатації [6].

У процесі досліджень (рис.2) оцінювався вплив на характеристики горіння відстані L від введення ПВК_т у повітропровід до пальника й глибини $h_{стр}$ проникнення струменя ПВК_т у потік первинного повітря, яка зумовлена залежністю [5]:

$$h_{стр} = k \cdot \sin \beta \cdot D_{ПВК} \cdot \frac{W_{ПВК}}{W_{пн}} \cdot \sqrt{(\rho_n + \mu_0) / \rho_{пн}}$$

де $k = 2,0-2,2$ – коефіцієнт пропорційності, що визначається геометричними параметрами

системи; $D_{ПВК}$ – діаметр пилопроводу ПВК_т; $W_{пн}$, $W_{ПВК}$ – швидкість первинного повітря й струменя ПВК_т; ρ_n , $\rho_{пн}$ – щільності транспортуючого повітря в ПВК_т і первинного повітря, відповідно.

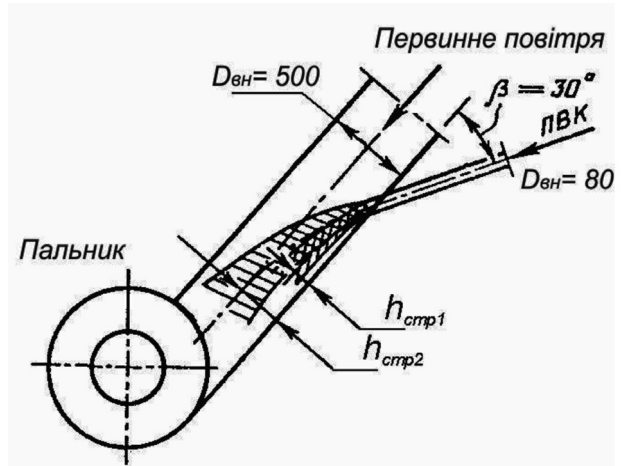


Рис.2. Розрахункова схема введення висококонцентрованого потоку в трубопровід первинного повітря перед пальником

Дослідженнями [5] встановлено, що витрату транспортуючого повітря ($G_{птр}$) можливо змінювати в досить широких межах без втрати надійності пилоподачі, сумарну витрату повітря в пилопроводі ПВК_т можна регулювати та впливати на динаміку виходу струменя аеросуміші з пилопроводу $D_y = 80$ мм, а також на профіль поля концентрації пилу в первинному повітрі перед равликком пальника. Так, при подачі струменя ПВК_т у центр перетину пилопроводу первинного повітря, ($h_{стр} = h_{стр}^{max} = 0,5D$) при $L = 2,7$ м і $G_n^{mp} = 110$ кг/год поле концентрацій пилу перед пальником, а також характеристики факела й топкового процесу і традиційному пневмотранспорті, є практично ідентичними. Збільшення L підвода ПВК_т не змінювало картини, але зменшення L і особливо величини $h_{стр}$ у всіх дослідах приводили до помітних змін характеристик факела пальників і топкового процесу.

Для оцінки впливу транспортуючого повітря на температуру факела були проведені спе-

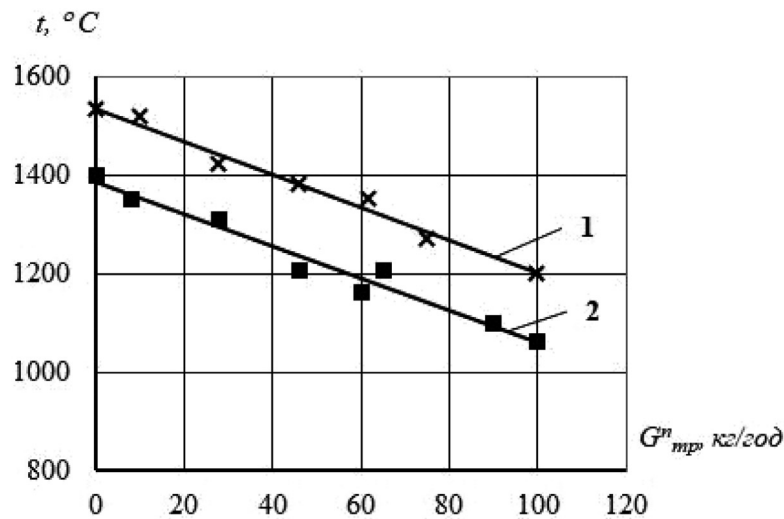


Рис. 3. Залежність зміни температури в контрольній точці факела пальника №6 котла енергоблока №3 Тп ТЕС від G_n^{mp} ПВК_т, при витраті повітря на аерацію в аеропиложивильнику $G_n^{аж} = 35$ кг/год, та при різних надлишках повітря за водяним економайзером: 1 – $\alpha_{oe} = 1,28$, 2 – $\alpha_{oe} = 1,3$

ціальні випробування пальника котла при зміні G_n^{mp} у діапазоні від 0 до 100 кг/год. Вимірювання температури проводилися в контрольній точці по осі пальника на відстані 1,0 м від амбразури (рис. 3).

Зниження витрат повітря на транспорт при ПВК_т дозволяє підвищити температуру газів у районі пальника та температуру у приосевій зоні рециркуляції, що сприяє більш ранньому запалюванню вугільного пилу. Ідентичний характер розподілу температури дозволяє при оцінці процесу горіння в різних умовах користуватися вимірами в контрольній зоні по осі факела з координатою $X = 1,0$ м від устя пальника. На рис. 3 наведено залежності температури в контрольній зоні від витрати транспортуючого повітря при навантаженні блока $N_e = 300$ МВт при різних α_{oe} . Аналогічні залежності отримані й при інших навантаженнях. З рис. 3 видно, що при зниженні витрати транспортуючого повітря температура t_{ef} в контрольній точці зростає. Оскільки при ПВК_т вентилятор гарячого дуття (ВГД) працює при зниженому напорі (цим забезпечується оптимальна W_1), зменшується витрата первинного повітря і росте концентрація пилу. Інтенсифікація хімічного реагування в цьому

випадку досягається збільшенням швидкості прогріву пилу за рахунок росту температури газів рециркуляції у факелі пальника, а також підвищенням локальної концентрації летючих до значень, що перевищують нижню концентраційну межу запалення [5].

Результати досліджень зміни температури газів по осі факела залежно від технології пилоподачі наведено на рис. 4.

Температурний профіль по осі факела пальника при ПВК_т стає крутіше (рис. 4), має місце підвищення температури на 150–200 °С, що свідчить про зменшення τ_{zn} , більш раннє запалювання пилу є передумовою для зниження механічного недопалу q_4 .

Аналіз пульсації випромінювання факела (в діапазоні $\lambda = 0,4–1,1$ мкм) показав (рис. 5), що при зниженні G_n^{mp} амплітуда пульсацій зменшується, тобто горіння стає рівномірним і стійким.

Таким чином, при ПВК_т пальник стає керованим і перехід на висококонцентровану пилоподачу, навіть із пальниками існуючої конструкції, являє собою важливий резерв підвищення ефективності спалювання низькорекційних палив і легко реалізується при модернізації діючих котлів. Для ПВК_т можли-

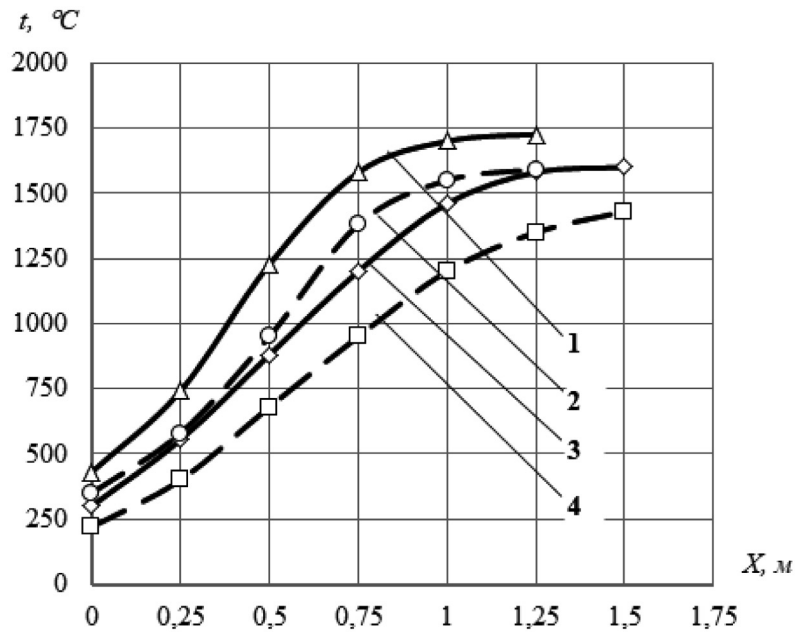


Рис. 4. Розподіл температури газів по осі факела пальника при різних технологіях пилоподачі ($N_e = 300$ МВт); $G_{анжс}^n = 35$ кг/год, $G_{mp}^n = 40$ кг/год: 1 – ПВК_Т, $\alpha_{ве} = 1,24$; 2 – ТСП, $\alpha_{ве} = 1,24$; 3 – ПВК_Т, $\alpha_{ве} = 1,3$; 4 – ТСП, $\alpha_{ве} = 1,3$

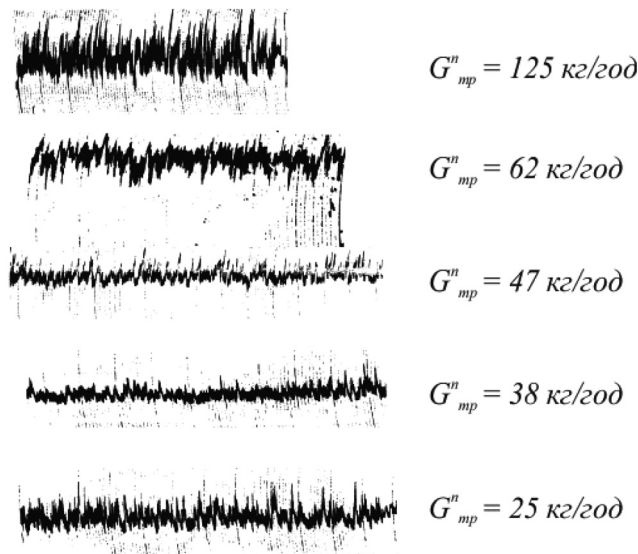


Рис. 5. Пульсації світності факела пальника котла ТПП-210А (корпус 3Б) при зміні витрати транспортуючого повітря

во використання існуючих пальників без розробки спеціалізованих. Застосування ПВК_Т відкриває нові можливості вдосконалення топкового процесу й поліпшення його характеристик [4,5]. Витрата повітря на транспорт пилу високої концентрації (70–120 кг/кг) оцінювалась по впливу її на стійкість процесу

горіння в пальнику. На рис. 5 наведено пульсації світності факела в пальнику при $G_{mp}^n = var$; оптимальною прийнято $G_{mp}^n = 38$ кг/год.

Ефективність роботи вихрових пальників в умовах подачі пилу з високою концентрацією в порівнянні з традиційною системою підтверджується результатами досліджень топко-

вого режиму котла ТПП-210А. Так, при ПВК_т мало місце зниження q_3 на 0,2%, q_4 – на 0,4–1,0%; зростання ККД бруто котла при $Ne = 225$ МВт становило 1,02%, при $Ne = 300$ МВт – 0,383% [5,7].

ВИСНОВКИ

- При ПВК_т висококонцентрований потік пилу може вводитися в будь-яке місце трубопроводу первинного повітря або пальника без впливу на витрату первинного повітря, що дозволяє регулювати його в широкому діапазоні при забезпеченні оптимального співвідношення швидкостей W_2/W_1 .
- При переведенні котлів на технологію ПВК_т реконструкція пальників не потрібна, а місце вводу пилу високої концентрації перед пальником в короб первинного повітря вибирається достатнім для стабілізації температурного режиму та розподілу пилу по перетину пилопровода на стабілізованій ділянці.
- За рахунок зміни режиму роботи ПВК_т (витратою транспортуючого повітря), впливом на поле концентрацій вугільного пилу в пальнику, можна задавати зони з високою концентрацією на початковій ділянці факела для сприяння більш раннього запалювання пилу.
- Переведення всіх пальників котла на ПВК_т в робочому діапазоні навантажень призводить до зниження втрат з хімічним та механічним недопалом, зростанню ККД на 0,383–1,02% і підвищенню температури в районі «поду» топки на 150–200 °С, що сприяє покращенню процесу рідкого шлаковидалення.

1. Мадоян А.А., Балтян В.Н., Гречаний А.Н. Эффективное сжигание низкосортных углей в энергетических котлах: Производственное издание. М.: Энергоатомиздат, 1991. 200 с.
2. Шагалова С.Л., Шницер И.Н. Сжигание твердого топлива в топках парогенераторов. Л.: Энергия, 1976.
3. Шницер И.Н. Исследование влияния температуры пылевоздушной смеси на воспламенение и выгорание антрацита ухудшенного качества. *Теплоэнергетика*. 1991. № 12. С. 46–49.
4. Чернышев Е.В., Зуев О.Г., Титов Ю.Ф. Опыт внедрения системы концентрированной подачи угольной пыли и аэропитателей. *Электрические станции*. 2000. № 11. С. 10–13.
5. Кесова Л.А., Черезов Н.Н., Георгиев А.В. и др. Разработка, исследование, внедрение и опыт эксплуатации системы высококонцентрированной пылеподачи (под давлением) котлов ТПП-210А Трипольской ТЭС. К.: Знання України, 2001. 96 с.
6. Митор В.В., Бондарев А.М. Экспериментальная и аналитическая оценка роли лучистого тепла в воспламенении пылевоздушной струи. *Энергомашиностроение*. 1977. № 6. С. 18–20.
7. Довготелес Г.А., Котельников Н.И., Хайрулин Ф.С., Салимон М.П., Кесова Л.А., Черезов Н.Н., Побировский Ю.Н. Освоение технологии подачи угольной пыли с высокой концентрацией для котлов, сжигающих АШ. *Энергетика и электрификация*. 1999. № 3. С.12–15.

Надійшла до редколегії 10.11.2017.