

УДК 621.18

Н.М. ШУВАЕВА, О.М. БОРИСЕНКО, канд.техн.наук, О.А. БОРИСЕНКО

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОДГОТОВКИ К ФАКЕЛЬНОМУ СЖИГАНИЮ НИЗКОРЕАКЦИОННЫХ УГЛЕЙ УКРАИНЫ

Наведено аналіз технологій підготовки вугілля з $V^{daf} \leq 20\%$, які забезпечують стабілізацію горіння при зменшенні витрат допоміжного палива.

Реконструкция пылеугольных котельных установок, работающих на низкорреакционных топливах (антрацитовом штыбе АШ и шламе, тощем угле Т), – актуальная проблема энергетиков Украины.

Доля низкорреакционных углей в балансе энергетических топлив на сегодня превышает 50 % [1].

Наименее реакционное топливо – антрациты Донбасса. Выход летучих на сухую беззольную массу $V^{daf} \leq 6\%$. Температура начала выхода летучих $400 \div 450$ °С, температура устойчивого воспламенения пыли превышает 700 °С. Скорость нагрева угольных частиц в период воспламенения и время воспламенения зависят от размера частиц, температуры и состава греющей среды. Горение мелких частиц происходит в кинетическом режиме, крупных – в диффузионном [2]. На температуру воспламенения и устойчивость горения существенное влияние оказывает содержание влаги на рабочую массу W_t^r и золы на сухую массу A^d .

При факельном сжигании АШ с $A^d \geq 24,5\%$ для стабилизации воспламенения и устойчивого горения пыли с тонкостью помола, соответствующей остатку на сите $R_{90} = 7 \div 9\%$, необходима подсветка факела путем сжигания вспомогательного высокорреакционного топлива, в частности природного газа или мазута до 30 % по тепловыделению [1].

На сегодня в Украине эксплуатируется более 200 котлов, сжигающих АШ и шлам. Паропроизводительность котлов энергоблоков 300 и 200 МВт составляет соответственно 950 и 670 т/ч, промышленных ТЭЦ и котельных – 230, 170 и 75 т/ч. Котлы введены в эксплуатацию в 50-60-е годы прошлого века. Индивидуальные замкнутые системы пылеприготовления и подачи пыли (СПП) выполнены по типовым схемам: с шаровыми барабанными мельницами (ШБМ), воздушно-проходным сепаратором ТКЗ-ВТИ, пылеуловителем типа ЦП-1, сушкой угля горячим воздухом, сбросом отработанного сушильного агента через сбросные сопла в топку и подачей пыли в основные горелки горячим воздухом с концентрацией $\mu = 0,3 - 0,5$ кг/кг

За годы эксплуатации котлов качество топлива резко ухудшилось. По сравнению с проектными характеристиками теплота сгорания топлива Q_i^r уменьшилась в 1,5 раза за счет увеличения содержания внешнего балласта влаги и золы (W_t^r в $1,15 \div 1,30$ раза, A^d в $1,9 \div 2,1$ раза). Ухудшение качества топлива, моральное старение, физический износ котлов и оборудования СПП привели к снижению к. п. д. котлов до $80 \div 82\%$ и увеличению до $40 \div 45\%$ (по тепловыделению) доли природного газа или мазута. При этом дефицитное высокорреакционное топливо расходуется не только на

подсветку пылеугольного факела, но и на компенсацию дефицита пыли, вызванного недостаточной производительностью ШБМ при работе котла на топливе ухудшенного качества.

Реальный путь повышения эффективности работы котлов прежних поколений при работе на АШ и Т ухудшенного качества, а также снижения или полного отказа от использования остродефицитного нефтегазового топлива без кардинального изменения технологии сжигания и конструкции топочного устройства – поэтапная реконструкция существующих СПП путем модернизации или замены существующих технологий и оборудования на современное.

Для приведения СПП к современному техническому уровню требуется решение следующих задач:

- увеличение производительности мельниц без ухудшения качества пыли;
- оптимизация физико-химических характеристик пыли из условий снижения механического недожога q_d и выхода оксидов азота NO_x и серы SO_2 при горении;
- реализация прогрессивных технологий подачи пыли в котел;
- обеспечение подготовки вспомогательного топлива для розжига и стабилизации горения основного топлива.

Анализ источников информации [3-12] позволяет рекомендовать пути и средства для решения вышеуказанных задач.

Повышение производительности ШБМ на 5-10 % и экономичности работы СПП обеспечивается малозатратными мероприятиями, которые могут быть выполнены ремонтным персоналом. Герметизация системы пылеприготовления путем установки герметических питателей сырого угля с топливоподъемниками и комплектация горловины мельниц уплотнениями позволяет увеличить сушильную производительность ШБМ. Углубленная подсушка угля достигается при дополнительном подогреве сушильного агента непосредственно в системе пылеприготовления до 400 – 450 °С. В качестве сушильного агента может использоваться либо горячий воздух, либо рециркулирующий в СПП отработанный сушильный агент. Для дополнительного подогрева можно использовать мазутные подогреватели, конструкции Донбассэнерго или СКБ ВТИ, которые успешно применялись на Змиевской, Луганской и Старобешевской ГРЭС [7], а также паровоздушные подогреватели с перегретым паром высокого давления [3].

Оптимизация формы и размеров мелющих элементов ШБМ, оснащение ШБМ устройствами автоматической подачи шаров и топлива, модернизация воздушно-проходного сепаратора и углубление подсушки обеспечивает повышение размольной производительности $V_{разм}$ ШБМ на 5 – 7 %.

Повышение $V_{разм}$ на 15 – 18 % достигается при направлении возврата продукта из сепаратора в выходную горловину мельницы [4]. Данное техническое решение реализовано на СПП котла ТПП-312А Приднепровской ТЭС.

Кардинальное повышение $V_{разм}$ в 1,88 ÷ 2,00 раза достигается организацией двухступенчатого размольного процесса при установке дополнительной мельницы на линии возврата из сепаратора (рис. 1) [7].

В качестве мельниц второй ступени возможно использование струйных противоточных мельниц (СПМ), прошедших промышленные испытания на ТЭС Украины. Мельницы просты в изготовлении, малогабаритны, не имеют движущих элементов. При использовании в качестве энергоносителя сжатого воздуха и газа с давлением 0,5 ÷ 0,6 МПа обеспечивают тонкость помола пыли до $R_{90} \leq 5\%$ [8].

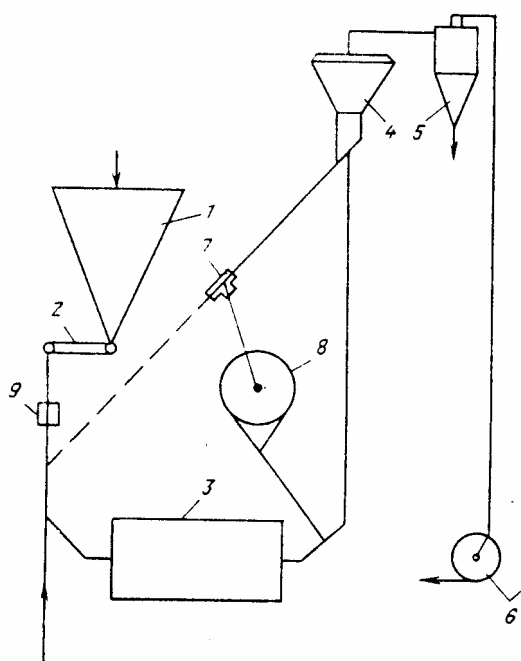


Рис. 1. Схема ступенчатого размола АШ с применением специальной мельницы для домола возврата.

1 – бункер сырого угля; 2 – питатель сырого угля; 3 – ШБМ; 4 – сепаратор; 5 – циклон; 6 – мельничный вентилятор; 7 – перекидной шибер; 8 – мельница для домола возврата; 9 – подогреватель сушильного агента.

Состав, дисперсность измельчения и температура поступающего в топку котла пылевидного топлива определяют условия воспламенения, величину q_4 , выход оксидов серы и азота. Повышение тонкости измельчения угля до величины соответствующей остатку на сите R_{90} равному 2 – 4 % интенсифицирует воспламенение и горение АШ ухудшенного качества. Сокращение времени пребывания частицы топлива в ядре факела снижает выход NO_x . Приготовление пыли с $R_{90} \leq 4\%$ возможно при замене воздушно-проходного сепаратора на современный динамический сепаратор (рис. 2).

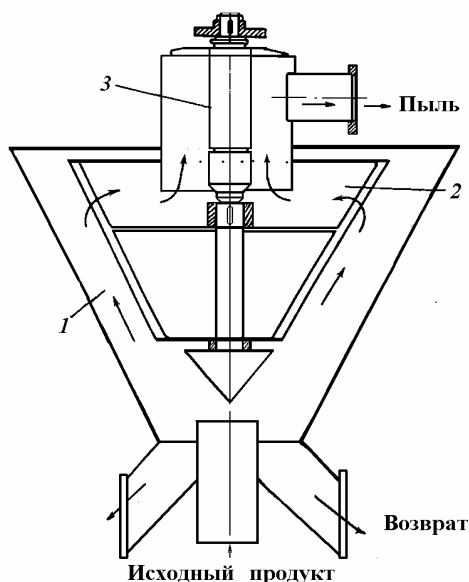


Рис.2. Схема динамического сепаратора
1 – корпус, 2 – крыльчатка, 3 – вал с подшипниковым узлом

От химико-минералогического состава и химико-физических свойств компонентов минеральной части топлива зависит интенсивность износа и загрязнения поверхностей нагрева котла. При размоле топлива происходит разделение органической и минеральной массы топлива. С увеличением тонкости помола отделяются не только внешние, но и внутренние части минеральной массы.

Среди минеральных компонентов угля особое место занимают сульфиды железа FeS_2 , пирит (колчедан) и марказит. Плотность FeS_2 составляет $(4,8 - 5,2) \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, что выше плотностей других минеральных и органических веществ соответственно в 2 и 3 раза. Твердость пирита равна 6. Пирит – основной источник образования сероводорода и оксидов серы в продуктах сгорания. От их концентрации зависит интенсивность высоко- и низкотемпературной коррозии поверхностей нагрева котла. Присутствие сульфидов серы резко снижает температуру плавления золы. Образование эвтектики с температурой 800 – 900 °С интенсифицирует шлакование.

Вследствие разности плотностей компонентов топлива в сепараторе и пылеуловителе системы пылеприготовления происходит перераспределение компонентов по размерным и гравитационным фракциям. Экспериментально установлено, что соотношение плотностей содержания золы A^d и серы S^d в мелких ($d \leq 5 \text{ мкм}$) и крупных фракциях пыли составляют соответственно 1,20 – 1,25, 1,9 – 2,0, 1,25 – 1,35. Эти данные свидетельствуют о возможности удаления части минеральных веществ непосредственно в процессе пылеприготовления.

В низкорекреационных углях Донбасса содержится от 1,0 до 1,8 % серы пиритной, что в 2 – 3 раза выше содержания серы органической.

Удаление пирита в процессе пылеприготовления – реальный путь облагораживания пыли. Для выделения пирита можно использовать инерционные, магнитные или электростатические методы очистки. Установлено, что магнитная восприимчивость пирита повышается при нагреве угля свыше 300 °С, при этом она зависит от темпа нагрева частиц. Перспективность методов очистки угольной пыли от пирита подтверждает значительный объем технических решений, защищенных охранными документами. Инерционные сепараторы позволяют выделить от 10 до 50 % пирита, магнитные – до 90 %. Вопрос разработки технических решений по оптимизации разомкнутых систем пылеприготовления с включением узла удаления пирита актуален.

В существующих (традиционных) системах с промежуточным бункером подача пыли осуществляется с низкой концентрацией пыли ($\mu = 0,3 \div 0,5 \text{ кг/кг}$) при высоких скоростях транспортирующего агента ($W = 25 - 35 \text{ м/с}$). Использование лопастных питателей пыли вызывает неравномерность пылеподачи и пульсации горения. Модернизация бункеров пыли и замена лопастных питателей на аэропитатели и реализация технологии подачи пыли с высокой концентрацией ($\mu = 30 \div 50 \text{ кг/кг}$) под давлением (ПВКД) обеспечивает снижение потерь с механическим и химическим недожогом топлива, сокращение выхода оксидов азота, экономию электроэнергии на собственные нужды, уменьшение капиталовложений [6].

Проблема розжига и/или стабилизации горения пыли АШ и Т приобрела актуальность в 50-е годы в период освоения пылеугольного сжигания АШ [9,10], при малой доли природного газа и мазута в балансе энергетических топлив. Единственным средством для розжига и стабилизации горения АШ и Т были муфели. Муфели использовались на котлах ТЭЦ-3 г. Харькова. Встроенный в стенки муфеля воздухоподогреватель обеспечивал подогрев воздуха до 450-480 °С и термическую обработку угля. Продукты пиролиза пыли АШ в муфеле использовались для розжига и подсветки основного факела, особенно при частичных нагрузках котла. Одна из

тенденций развития технологий пылеприготовления в 80-е годы - использование в качестве растопочного или дополнительного топлива пылеугольное топливо, которое отличается от основного либо тонкостью помола (R_{90}) и влажностью, либо всеми физико-химическими характеристиками. В качестве средств реализации этой тенденции рекомендовались:

- выделение мелкодисперсной пыли из основного потока пыли и подача ее в специальный бункер-накопитель;
- включение в существующую СПП дополнительной мельницы для подготовки мелкодисперсной пыли;
- использование специальной системы для целенаправленного приготовления пыли высокорекреационного малозольного угля для розжига и стабилизации горения основного низкорекреационного угля. (Для котлов средней мощности возможен вариант доставки готовой пыли в цистернах и хранения дополнительного топлива в бункере-накопителе, при этом для снижения взрывоопасности в бункер подают CO_2).

В современные технологии подготовки угля для розжига и стабилизации горения низкосортных твердых топлив включают ультратонкий помол и/или предварительную плазменную термохимическую обработку дополнительного топлива.

Уголь ультратонкого помола, получивший название «микрон-уголь» с размерами менее 50 мкм используется в мировой практике как более дешевое альтернативное топливо (взамен мазута или природного газа) [11]. Вследствие резкого увеличения удельной поверхности частиц интенсифицируется темп их прогрева, выход летучих V^{daf} и снижается энергия активации E . Горение «микрон-угля» протекает в кинетическом режиме. Для подготовки «микрон-угля» требуется особая СПП. Для измельчения используются специальные виброцентробежные мельницы (ВЦМ), выпускаемые в России [11], либо струйные, изготовление которых возможно силами ТЭС или предприятия, на котором работают котлы [8]. Для фракционирования пыли используется внешний классификатор. Подача «микрон-угля» к горелкам осуществляется специальными насосами. Следует отметить склонность «микрон-угля» к агрегированию, что исключает подачу его на значительные расстояния [11].

Плазменная термохимическая обработка пыли угля обеспечивает сверхравновесные концентрации активных центров в плазменно-топливной струе, что значительно ускоряет реакции окисления, воспламенение и сжигание АШ. Конструкции плазматронов, используемых в котельной установке, разрабатывались в 80-е годы в Николаевском кораблестроительном институте [12].

Принципиально новая термохимическая подготовка низкорекреационных углей Украины разработана Научно-инженерным центром «Экология – Геос», Институтом геотехнической механики НАН Украины, ГKB «Южное» и Приднепровской ТЭС. Подготовка заключается в скоростном нагреве и частичной газификации аэросмеси в специальном реакторе с использованием электродуговой плазмы. Промышленные исследования технологии на котле Приднепровской ТЭС показали, что температура аэросмеси, прошедшей подготовку, повышается до 900 – 1000 °С. В результате уменьшается на 8 – 12 % расход мазута на подсветку факела, а КПД котла повышается на 0,3 – 0,5 %.

Промышленное испытание СПП с ультратонким помолом угля и системой плазменного воспламенения пыли плазматроном ОАО «Гусиноозерское ПРП» проведено на котле БКЗ 210-140Ф Барнаульской ТЭЦ-2 [11].

Выводы. 1. Реконструкция системы подготовки и подачи угольной пыли в топку котла необходима для обеспечения номинальной нагрузки котлов энергоблоков мощностью 200 и 300 МВт при сжигании низкорекреационных углей ухудшенного качества без существенной реконструкции топочного устройства.

2. При усовершенствовании необходимо обеспечить увеличение производительности системы подготовки угольной пыли и оптимизацию характеристик с целью стабилизации воспламенения, повышения устойчивости горения и снижения эмиссии образования оксидов азота и серы.

3. Усовершенствование целесообразно проводить поэтапно. Малозатратная модернизация предусматривает повышение технических характеристик существующего оборудования с целью повышения размольной производительности мельниц.

Литература

1. Майстренко А.Ю., Чернявский Н.В., Дудник А.Н. и др. Оценка условий стабилизации горения высокозольного АШ в факельных котлоагрегатах с жидким шлакоудалением. // Энергетика и электрификация, 1995, №1.– с. 14 – 17.

2. Бабий В.И., Куваев Ю.Ф. Горение угольной пыли и расчет пылеугольного факела. //М.: Энергоатомиздат.– 1986.

3. Маршак Ю.Л., Артемьев Ю.П., Миронов С.Н., Полферов К.Я. Пути улучшения сжигания низкосортного антрацитового штыба на электростанциях. // Теплоэнергетика, 1988, № 9.– с. 2 – 10.

4. Втюрин Ю.Н., Летин Л.А., Шенаев В.М. и др. Повышение надежности и улучшение технико-экономических показателей углеразмольного оборудования и пылесистем ТЭС. // Теплоэнергетика, 2000, № 7.– с.44 – 51.

5. Левит Г.Т. Пылеприготовление на тепловых электростанциях. // М.: Энергоатомиздат.– 1991.

6. Кесова Л.А., Черезев Н.И., Побировский Ю.Н. и др. Конкурентоспособность системы пылеподачи с высокой концентрацией по сравнению с традиционным пневмотранспортом угольной пыли на горелки. // Вісник УБЕТНЗ, 1998, № 6.– с. 56 – 59.

7. Петров В.М., Толчинский Е.М., Яковлева В.С. Пути повышения производительности систем пылеприготовления АШ. // Электрические станции, 1991, № 6.– с. 27 – 33.

8. Чечик А.Л. О сокращении потребления дефицитного нефтегазового топлива на пылеугольных электростанциях //Энергетика и электрификация. 1994, № 3, с.20-22.

9. Боев А.Ф. Муфельные горелки для котлов, работающих на пыли донецких антрацитов. //За экономию топлива.– 1951; 4.– с.20-22.

10 Боев А.Ф. Увеличение устойчивости работы камерных топков при неполных нагрузках /Дис. на соиск. уч. степ. канд.техн.наук, 1955, Харьков. с. 235.

11. Алексеенко С.В., Бурдуков А.П., Чернова Г.В. и др. Энергоэффективные и экологически чистые технологии при реконструкции и модернизации угольной теплоэнергетики. //Известия АН.– Энергетика.– Россия.– 2003, № 2.

12. Романовский Г.Ф. Плазменное воспламенение и сжигание топлив в судовых установках.– Л.: Судостроение, 1986.

© Шуваева Н.М., Борисенко О.М., Борисенко О.А., 2005