УДК 621.311

ОПЫТ СЖИГАНИЯ ТОПЛИВНЫХ СМЕСЕЙ НА ТЭС УКРАИНЫ И ТРЕБОВАНИЯ К ИХ СОСТАВЛЕНИЮ

Чернявский Н.В.[1], Голенко И.Л.[1], Филиппенко Ю.Н.[2], Рудавина Е.В.[2]

[1]*Институт угольных энерготехнологий НАН Украины, Киев, Украина*
[2]*ГП «УкрНИИуглеобогащение», Луганск, Украина*

АННОТАЦИЯ

В работе показаны причины поставок на ТЭС смесей углей различных марок и обобщен опыт их сжигания. Исследован эффект сегрегации – изменения свойств топлива в зависимости от размера частиц – при пылеприготовлении АШ отсева, АШ обогащенного и топливных смесей с выходом летучих, характерным для тощего угля, на Трипольской и Змиевской ТЭС. На примере топлив, поставляемых на Черниговскую и Дарницкую ТЭЦ, показаны способы выявления факта смешивания и компонентного состава смесей.

ВВЕДЕНИЕ

В течение последнего десятилетия важнейшей задачей для энергетики Украины было снижение использования на ТЭС природного газа и мазута за счет приближения калорийности угля к проектным требованиям котлоагрегатов [1]. Сейчас, когда эта задача в основном решена, актуальным стало снижение доли топливной составляющей в себестоимости электроэнергии. В связи с этим участились случаи поставки на ТЭС более или менее удачно составленных топливных смесей, как сертифицированных, так и под видом энергетического угля определенной марки.

Причины поставок на ТЭС топливных смесей могут быть вызваны условиями как ТЭС, так и поставщика, и в основном сводятся к следующим:

- дефицит угля определенной марки;
- попытка улучшить условия воспламенения антрацита по выходу летучих веществ;
- снижение зольности, влажности и/или содержания серы;
- использование более дешевого угля;
- попытка сбыта непроектной и/или неликвидной угольной продукции.

Строго говоря, эти поставки запрещены действующими нормативными документами. В ГОСТ 1137 [2] указано, что «смешивание отдельных марок и классов топлива… в процессе производства, хранения и погрузки не допускается» (п.16). Однако, если смешивание различной угольной продукции одной марки, например, антрацита и антрацитового шлама, высокозольного АШ отсева и малозольного сорта АС, может вызвать лишь небольшие технологические трудности (снижение расхода пыли по сушильной или размольной производительности ШБМ, увеличение мехнедожога топлива), то смешивание разных марок углей, в том числе непроектных, создает риск пожаро- и взрывоопасности пылесистем и котлоагрегатов и прямо запрещено ПТЭ котлоагрегатов. Между тем в коксохимии дефицит коксующихся углей давно уже заставил эффективно использовать шихты углей разных марок со свойствами, соответствующими марке К.

Сегодня наряду с положительным опытом использования на ТЭС угольных смесей (подмешивание на ТЭС тощего угля к антрациту, сжигание на Трипольской ТЭС угля Г/А с характеристиками, близкими к тощему углю) существует и отрицательный (подмешивание бурого угля к газовому на Ладыжинской и Запорожской ТЭС, поставка на ТЭС (Змиевская, Старобешевская) и ТЭЦ (Черниговская, Дарницкая, Черкасская) смесей рядового газового, окисленных и «молодых» углей с сортовым антрацитом под видом тощего или газового угля). Настоящая работа посвящена обобщению этого опыта, вскрытию причин удач и неудач и развитию методов составления топливных смесей, удовлетворяющих эксплуатационным требованиям котлоагрегатов ТЭС.

ОПЫТ СЖИГАНИЯ УГЛЯ Г/А НА ТРИПОЛЬСКОЙ И ЗМИЕВСКОЙ ТЭС

Энергоблоки ТЭС Украины оснащены в основном пылеугольными котлоагрегатами с жидким шлакоудалением, которые можно разделить на 2 большие группы: спроектированные для сжигания антрацита и тощего угля и для сжигания углей газовой группы. Среди их отличий

одно из основных касается пылесистемы, которая в первой группе использует в качестве сушильного агента горячий воздух и предполагает промежуточный бункер пыли, а во второй из-за пожаро- и взрывоопасности пыли с большим выходом летучих веществ допускает использование только дымовых газов с низким содержанием кислорода и, как правило, не включает промбункер. Известно [3], что использование тощего угля на антрацитовых ТЭС, допускаемое проектными и эксплуатационными требованиями к системам пылеприготовления и котлоагрегатам, обусловлено улучшением условий воспламенения и горения и снижением необходимого уровня подсветки факела угольной пыли с повышенным выходом летучих веществ. В условиях острой потребности антрацитовых ТЭС в тощем угле поставщики пытаются заменить марку Т различного рода смесями (шихтами). Так, в 2009 г. ГП «Уголь Украины» по согласованию с ОАО «Центрэнерго» на основании разработанных техническим комитетом Украины по стандартизации ТК 92 ТУ «Уголь Г/А энергетический» организовало на ГП «ГОФ Славяносербская» производство смеси 10-20 % газового угля и 90-80 % антрацита с выходом летучих, близким к тощему углю (V^{daf} = 8-12 %). Институт угольных энерготехнологий выполнял научное сопровождение на всех этапах испытаний по пылеприготовлению и сжиганию угля Г/А на Трипольской и Змиевской ТЭС [4].

Изначально было предложено и внесено в ТУ требование об ограничении крупности газового угля классом 0-25 мм, что сделало его близким к крупности АШ 0-6 мм. Кроме того, в ТУ было внесено требование об обогащении каждого компонента перед смешиванием до близкой зольности. В течение июля 2009 г. на Трипольской ТЭС, октября – на Змиевской ТЭС при входном контроле качества выполнялось опробование угля не только по объединенным, но и по точечным пробам. Средняя зольность угля Г/А в партиях составила A^d = 26,7 ± 3,4 %, выход летучих на сухое беззольное состояние топлива V^{daf} = 8,9 ± 1,6 %, что свидетельствует о равномерности шихтования при составлении угля Г/А.

Дополнительно равномерность шихтования можно оценить по методике, предложенной в [5], которая учитывает вклад термического разложения минерального вещества угля в наблюдаемый выход летучих. Зависимость выхода летучих на сухую массу V^d от зольности угля Г/А (рис. 3) аппроксимируется выражением вида

$$V^d = V^{daf}\cdot(100-A^d)/100+V^A\cdot A^d/100, \qquad (1)$$

где V^{daf} = 8,1 %; 8,4 %, V^A = 1,8 %; 0,8 % для Трипольской и Змиевской ТЭС, соответственно. В [6] показано, что максимальные значения V^A для углей Украины не превышают 2-8 %. Попадание величины V^A в допустимый диапазон говорит о том, что зависимость выхода летучих угля Г/А от зольности соответствует тощему углю.

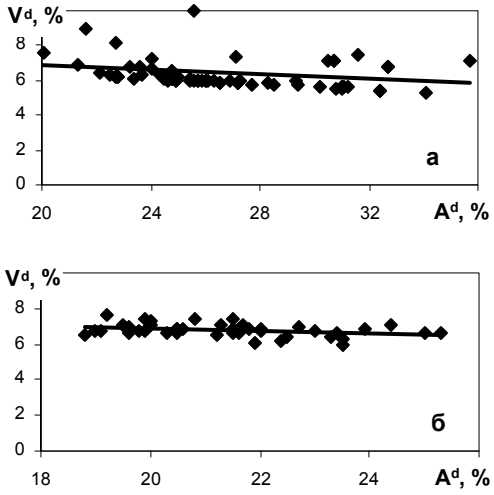

Рис.1 Зависимость выхода летучих веществ от зольности угля Г/А на Трипольской (а) и Змиевской ТЭС (б)

Размолоспособность углей в шаробарабанных мельницах зависит от марки, крупности и зольности угля. Смеси, в которых эти характеристики компонентов сильно разнятся, могут проявлять склонность к сегрегации - изменению долей компонентов в зависимости от размера частиц пыли, что, в свою очередь, ставит в различные условия взрывоопасности контуры возврата сепаратора (крупная пыль R_{90} = 25-55 %), циклон и бункер пыли (R_{90} = 5-7 %) и тракт выноса мелкой пыли (размер менее 50 мкм) из циклонов в сбросные горелки (рис.2).

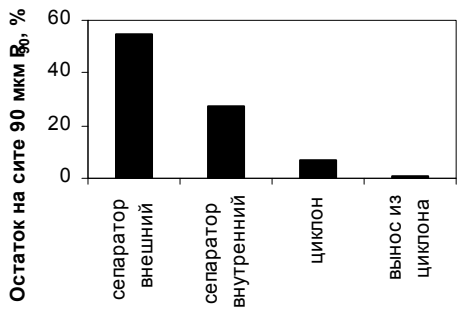

Рис.2 Крупность пыли в контурах пылесистемы по остатку на сите R_{90}, %

На рис.3, 4 показаны выход летучих и зольность пыли шихт угля Г/А и АШ различной крупности в разные периоды испытаний. Видно, что явной (за пределами доверительного интервала от среднего значения угля) сегрегации пыли по выходу летучих не наблюдается, что подтверждает безопасные

условия пылеприготовления равномерной шихты углей двух марок с близкой зольностью.

Для угля с A^d = 22-25 % зольность пыли из сепараторов и циклона близка к зольности сырого угля, но одновременно наблюдается эффект увеличения зольности со снижением размера пыли, при A^d > 30 % этот эффект отсутствует. Данный эффект можно объяснить, используя данные [6] о распределении золы в угольной продукции.

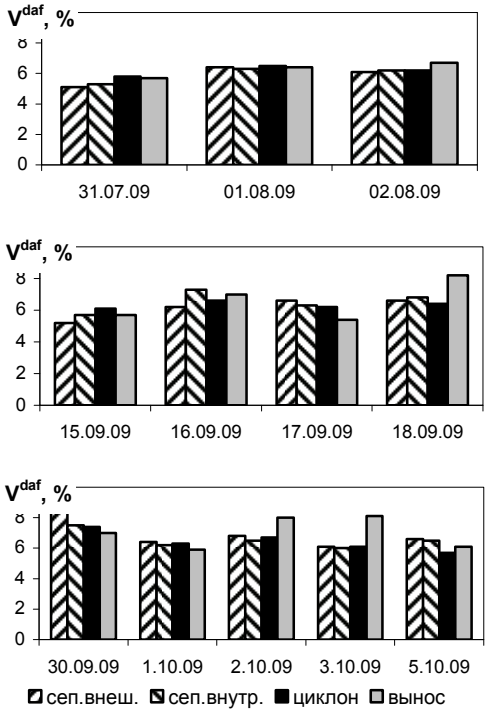

Рис.3 Выход летучих пыли Г/А различной крупности (из разных контуров пылесистемы Трипольской ТЭС)

Как показали исследования на Старобешевской ТЭС, основная часть золы АШ отсева сосредоточена в породе и минерало-угольных сростках (характерный размер 0,1-10,0 мм), а АШ обогащенного (концентрата), из которого порода и минерало-угольные сростки удалены, - в угле-минеральных сростках (характерный размер 1-100 мкм). При размоле концентрата мелкие сростки отделяются в первую очередь и выносятся из циклона. При размоле АШ отсева повышения зольности выноса по сравнению с более крупной пылью не происходит, т.к. последняя включает размолотую золу из более крупных включений. Вскрытие этого эффекта может быть полезным при разработке мер по снижению мехнедожога АШ.

В результате доказанного отсутствия сегрегации угля Г/А на стадии пылеприготовления стало возможным установить температуру на выходе ШБМ не 70 °С, как требует ПТЭ для газового угля, а 120 °С, как принято для тощего угля, при этом саморазогрева пыли в бункере не наблюдалось. Испытания, выполненные на Трипольской и Змиевской ТЭС при участии Института угольных энерготехнологий и ОАО «ЛьвовОРГРЭС», показали уменьшение мехнедожога и возможность снижения подсветки по сравнению с АШ той же зольности [4], что позволило при выполнении всех необходимых мер безопасности перейти в зимний период на одном из блоков на сжигание угля Г/А без подсветки.

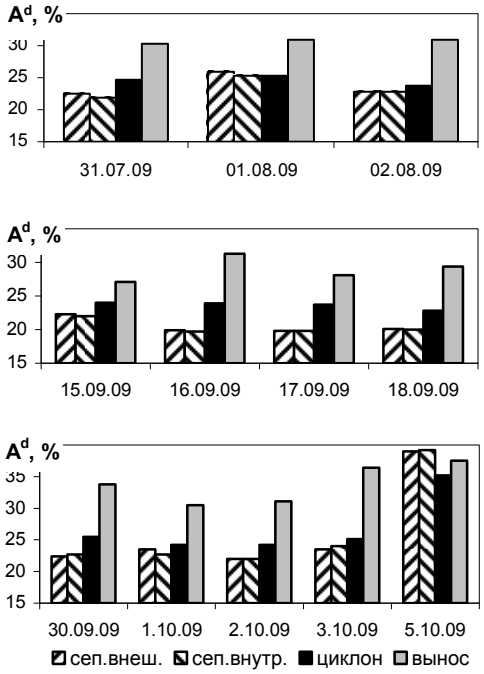

Рис.4 Зольность пыли Г/А различной крупности (из разных контуров пылесистемы Трипольской ТЭС)

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСЕРТИФИЦИРОВАННЫХ ТОПЛИВНЫХ СМЕСЕЙ В ПОСТАВКАХ НА ТЭС

Совершенно иные свойства показало топливо, поставленное на Змиевскую ТЭС в июне 2010 г. как уголь марки Т. Хотя пробы сырого угля не показывали существенных отклонений от показателей, характерных для тощего угля (A^d = 24,9 ± 1,7 %, V^{daf} = 12,4 ± 1,8 %), но как средние значения, так и среднеквадратичные отклонения обеих характеристик пыли в бункере были существенно большими, чем у сырого угля (A^d = 27,9 ± 2,5 %, V^{daf} = 15,0 ± 2,9 %). Налицо имелась сегрегация пыли по зольности и выходу летучих, что, с одной стороны, повлекло за собой ухудшение показателей горения и необходимость увеличения газовой подсветки, с другой – поставило под угрозу взрывобезопасность пылесистемы, особенно 08.07, когда величина V^{daf} достигла 19-20% (для углей марки Т максимальное значение V^{daf} – 18%). По просьбе руководства ТЭС Институт угольных

энерготехнологий был привлечен к экспертизе данного явления.

Анализ показал у данного угля устойчивую тенденцию роста выхода летучих с увеличением зольности (рис.5). Обработка данных по формуле (1) дала значения V^{daf} = – (0,1-1,9) %, V^{A} = 39-43 %. Эти значения нельзя признать реалистичными: во-первых, выход летучих на сухую беззольную массу не может быть отрицательным, во-вторых, минеральная часть угля не может обладать столь высокой степенью разложения (для сравнения: степень термического разложения чистого известняка не превышает 44% даже при длительной выдержке).

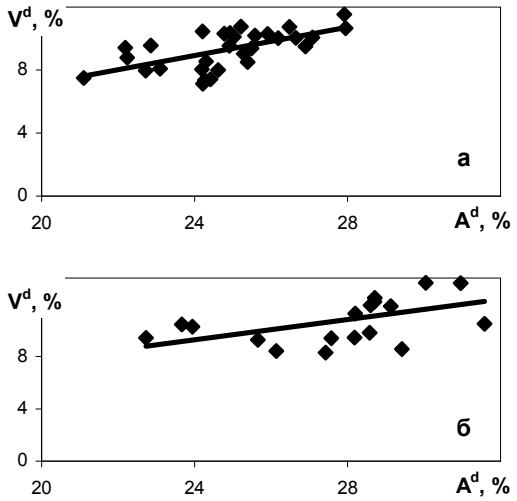

Рис.5 Зависимость выхода летучих веществ от зольности сырого угля (а) и пыли (б) на Змиевской ТЭС в июле 2010 г.

Объяснением данной тенденции может быть то, что поставленное топливо является смесью компонентов с различными характеристиками, причем малозольный компонент должен иметь низкий, а высокозольный – высокий выход летучих веществ. Действительно, на угольных предприятиях такая практика используется для сбыта неликвидного сортового угля, например, АС с A^d = 13-15%, и для снижения зольности АШ отсева путем шихтовки с АС. Однако до недавнего времени с другими марками угля АС не смешивали.

На рис. 6 представлены расчетные характеристики шихты, составленной из АС (A^d = 14%, V^{daf} = 5,8%) и высокозольного угля с выходом летучих, близким к верхнему пределу для марки Т (A^d = 32%, V^{daf} = 17,6%). Расчетная зависимость V^d от A^d близка к фактической (на рис. 5), что подтверждает сделанный вывод. Другим подтверждением наличия антрацита в шихте является то, что высшая теплота сгорания на сухую беззольную массу топлива (Q_s^{daf} = 32-34 МДж/кг) характерна для антрацита (по ДСТУ 3472 для марки Т Q_s^{daf} > 35,2 МДж/кг). Не исключено также, что другим компонентом шихты является окисленный тощий либо другой каменный уголь с низким значением Q_s^{daf}.

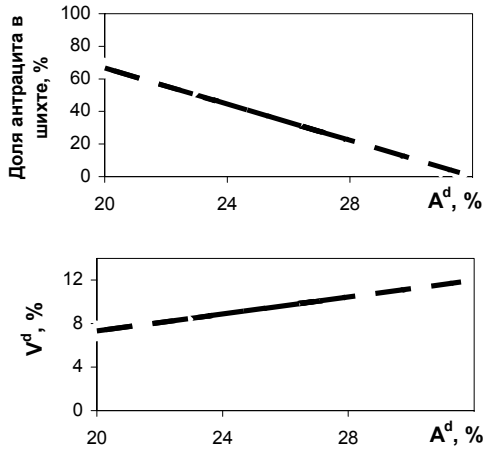

Рис.6 Расчетные характеристики шихты АС и высокозольного каменного угля

При таком составе шихты сегрегация пыли по зольности должна носить принципиально иной характер, чем обнаруженная для угля Г/А. Считается, что размолоспособность антрацита ниже, чем каменных углей, однако это определено для частиц одного размера и с близкой зольностью. Если же крупность антрацита в шихте ограничена, а высокозольного каменного угля – нет, то в состав шихты входят крупные высокозольные частицы каменного угля с размолоспособностью более низкой, чем мелкого малозольного антрацита. Действительно, по данным ТЭС наибольшую зольность имеет крупная (более 13 мм) фракция данного топлива.

Это приводит к тому, что при размоле антрацита образуется существенно больше мелочи, проскакивающей циклон, соответственно зольность и выход летучих пыли, улавливаемой циклоном, возрастают. Такая сегрегация пыли по выходу летучих ведет к повышенной взрывоопасности пылесистемы, а по зольности – к снижению производительности пылесистемы, к необходимому увеличению подсветки факела пыли с повышенной зольностью и к повышению мехнедожога топлива.

В 2009-2010 гг. на Черниговскую и Дарницкую ТЭС поставлялся уголь с повышенным выходом летучих веществ, характерным для марки Т. В связи со случаями самовозгорания пыли в бункере, повышенным мехнедожогом и шлакованием ширмовых поверхностей при его сжигании Институт угольных энерготехнологий совместно с ГП «УкрНИИуглеобогащение» выполнил подробное исследование четырех образцов поставляемых углей с их разделением в тяжелой жидкости на пробы с разной зольностью. Это позволило построить зависимости выхода летучих веществ и высшей теплоты сгорания на сухую

массу Q_s^d от зольности образцов (рис.7). Анализ результатов позволил заключить следующее:

Изломы на зависимостях выхода летучих и теплоты сгорания от зольности угля и угол наклона прямых участков свидетельствуют, что уголь, поставлявшийся на Черниговскую и Дарницкую ТЭЦ под видом марки Т, представляет собой смесь двух компонентов: окисленного или «молодого» угля класса 0-100 мм с повышенной зольностью и выходом летучих и с низкой теплотой сгорания органической части, и мелкого малозольного сортового антрацита, добавленного для снижения выхода летучих и зольности. Такая топливная смесь неизбежно сегрегирует при размоле по зольности и выходу летучих для разного размера пыли. Самовозгорание пыли в бункерах связано с сегрегацией по выходу летучих, повышенный мехнедожог – с сегрегацией по зольности, шлакование ширм – с сегрегацией по составу золы.

Очевидно, что сжигание таких топливных смесей сопряжено с большими рисками и неприемлемо для ТЭЦ. Однако, само по себе повышенное содержание летучих (в пределах для марки Т) не является опасностью, если топливная смесь составлена по требованиям, аналогичным углю Г/А.

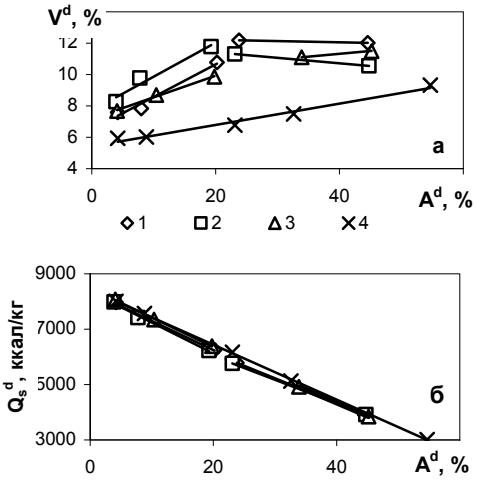

Рис.7 Зависимость выхода летучих веществ (а) и высшей теплоты сгорания на сухую массу (б) от зольности углей, поставленных на Черниговскую и Дарницкую ТЭЦ

ВЫВОДЫ

Практика показывает, что поставки на ТЭС топливных смесей из углей разных марок имеют причины, связанные с интересами как поставщиков, так и электростанций, и скорее всего будут продолжаться. По нашему мнению, для антрацитовых ТЭС топливные смеси с повышенным выходом летучих веществ, соответствующим тощему углю, в состав которых входят газовые или «молодые» угли, могут частично заменить тощий уголь и при сжигании в смеси с антрацитом снизить требуемый уровень подсветки. Однако для обеспечения условий пожаро- и взрывобезопасности пылесистем и котлоагрегатов они должны быть составлены по жестким требованиям, в частности, по классам крупности и зольности компонентов, испытаны на равномерность смешения и на склонность к сегрегации при размоле, и должным образом сертифицированы. Вероятно, назрел вопрос о стандартизации требований к составлению топливных смесей для пылевидного сжигания на ТЭС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сердюк С.Д., Стегний Н.Г., Чернявский Н.В. Особенности работы ТЭС Украины в современных условиях топливно-энергетического рынка // В сб.: Современная наука. – 2010. - №1(3). – С.35-37.
2. Угли бурые, каменные, антрацит, горючие сланцы и брикеты. Правила приемки по качеству: ГОСТ 1137-64. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1996. – 6 с.
3. Витрата газомазутного палива під час спалювання на ТЕС України кам'яного вугілля з виходом летких речовин менше 20%. Норми: ГКД 34.10.502–2003. – К.: ОЕП „ГРІФРЕ", 2003. – 29 с.
4. Досвід експериментального спалювання вугілля Г/А на Трипільській ТЕС / В.Г.Дєдов, О.М.Коземко, М.В.Чернявський та ін. // Енергетика та електрифікація. – 2010. - № 3. – С.49-55.
5. Филиппенко Ю.Н., Рудавина Е.В., Чернявский Н.В. Влияние зольности на теплоту сгорания, выход летучих и содержание серы в энергетических углях Украины // Современная наука: Сб. научн. статей. – 2010. – №1(3). – С. 56–59.
6. Голенко И.Л., Батрак А.А., Чернявский Н.В. Распределение внешней и внутренней золы в угольной продукции для антрацитовых ТЭС // Тез. докл. 4-й научн.-практ. конф. "Угольная теплоэнергетика: проблемы реабилитации и развития". – Алушта: НПВК «ТРИАКОН», 2008. – С. 116–118.