

Ю.Н. ФИЛИППЕНКО, П.Т. СКЛЯР, Е.В. ХАРЛОВА, кандидаты техн. наук,
Е.В. РУДАВИНА

(Украина, Луганск, ГП "Укрнииуглеобогащение")

Н.В. ЧЕРНЯВСКИЙ, канд. техн. наук

(Украина, Киев, Институт угольных энерготехнологий НАН Украины)

ПОДГОТОВКА УГОЛЬНОГО ТОПЛИВА ДЛЯ ПЫЛЕВИДНОГО СЖИГАНИЯ НА ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ

Угольные электростанции занимают важное место в энергетике Украины. Установленные мощности угольных энергоблоков – 20,9 тыс. МВт, то есть более 40% от мощностей всей энергосети Украины. ТЭС обеспечивают 44-47% из общего годового производства электроэнергии 180-200 млрд. кВт. В значительной мере именно угольные энергоблоки ТЭС, способны, в отличие от АЭС, работать на переменных нагрузках, используются для регулирования режима энергопотребления.

Основное и вспомогательное оборудование большинства энергоблоков ТЭС отработало больше 200 тыс. часов. Из 14 ТЭС Украины 7 спроектированы для пылевидного сжигания углей марок Г, ДГ, Д (газовой группы) – Угледорская, Запорожская, Зуевская, Кураховская, Ладыжинская, Добротворская, Бурштынская, 6 – для сжигания низкорекреационного угля марок А и Т (Трипольская, Змиевская, Приднепровская, Старобешевская, Славянская, Луганская), а Криворожская ТЭС – только для марки Т.

Условием стабильного пылевидного сжигания является поддержание теплового баланса топki при температуре, превышающей начало нормального жидкого шлакоудаления (1500° С). При увеличении зольности или влажности угля тепловой баланс топki возможно получить лишь при более низкой температуре. Для углей газовой группы это приводит к нарушению условий шлакоудаления, для антрацита и тощего угля – еще и условий горения, вплоть до погасания факела. С этим традиционно борются подсветкой факела природным газом. Однако из-за большей по сравнению с углем удельной скорости горения газа в зоне зажигания и ядре факела уменьшается концентрация кислорода, что приводит к уменьшению скорости выгорания угольных частиц и, как следствие, к увеличению механического недожога. Таким образом, качество угля является основным условием эффективности работы ТЭС, с точки зрения как уменьшения использования газа для подсветки, так и снижения удельных затрат топлива на производство электроэнергии.

Обеспечить необходимое качество угля возможно путем составления топливных смесей с заданными показателями качества, что предусмотрено в новой редакции ДСТУ 4083, вводимого в действие с 1 июля 2013 г. В общем, составление топливных смесей для сжигания на ТЭС целесообразно в силу следующих причин:

– необходимость улучшения условий воспламенения и снижения механи-

Загальні питання технології збагачення

ческого недожога пылевидного антрацита с низким выходом летучих веществ;

- покрытие дефицита угля определенной марки;
- снижение стоимости угольной продукции;
- необходимость сбыта непроектной или неликвидной угольной продукции со снижением ее зольности, влажности и содержания серы.

С целью расширения топливной базы и повышения эффективности пылевидного сжигания за счет уменьшения подсвечивания и механического недожога ГП "Укрнииуглеобогащение" совместно с Институтом угольных энерготехнологий НАН Украины разработал и апробировал "Методику шихтования угля для пылевидного сжигания". Методика включает требования к исходному угольному сырью и к составляемым смесям, рекомендации по составу смесей, требования к технологии шихтования и опробования шихт.

Если смешивать разную угольную продукцию одной марки, например, антрацит и антрацитовый шлам, высокозольный отсев АШ и малозольный АС, могут возникнуть лишь небольшие технологические трудности (снижение производительности мельниц, увеличение механического недожога топлива), а при смешивании угля разных марок, в том числе непроектных, создается риск пожаро- и взрывоопасности пылесистем и котлоагрегатов. В связи с этим ГКД 34.20.507-2003 "Техническая эксплуатация электрических станций и сетей. Правила" требует при размоле углей разных марок обеспечивать условия, соответствующие углю с большим выходом летучих веществ, что сводит на нет все потенциальные преимущества от использования топливных смесей. Это требование справедливо в случаях, если смешение происходит на угольном складе ТЭС, где невозможно обеспечить постоянство состава смеси и равномерность шихтования. В "Методике..." принят иной подход: целью является составление шихт оптимального состава с высокой равномерностью показателей, которые, по сути, являются новыми топливами с заданными свойствами. Исходя из этого подхода, угольная шихта должна отвечать следующим требованиям:

- отвечать техническим условиям ДСТУ 4083-2002;
- быть оптимальной калорийности согласно проектным требованиям к котлоагрегатам тепловых электростанций;
- обеспечивать пожаробезопасность и взрывобезопасность систем пылеприготовления и котлоагрегатов;
- быть пригодной для условий шлакоудаления на ТЭС;
- компоненты смеси должны быть одинаковых или близких классов крупности для обеспечения равномерности размола;
- в шихте выход летучих веществ на сухое беззольное состояние топлива должен отвечать проектным требованиям котлоагрегатов, как в объединенной, так и в каждой из точечных проб.

Согласно ДСТУ 4083, уголь для пылевидного сжигания на тепловых электростанциях разделен на 4 категории качества по признакам соответствия его основных показателей проектным требованиям существующих пылеугольных котлоагрегатов.

К первой категории качества по новой редакции ДСТУ 4083 относится

Загальні питання технології збагачення

уголь, который обеспечивает стабильные условия сжигания без подсветки в диапазоне нагрузок котлоагрегатов от 60 до 100% от номинального, с низшей теплотой сгорания для марок Д, ДГ, Г – не менее 20,935 МДж/кг (5000 ккал/кг), содержание влаги не более 12-14%, для марок Т и А – не менее 22,610 МДж/кг (5400 ккал/кг), содержание влаги не более 10%. С учетом допустимой погрешности опробования по ДСТУ 4096, нижней допустимой границей калорийности в поставках на ТЭС для сжигания без подсветки следует считать 4800 и 5200 ккал/кг, соответственно.

ГП "Укрниуглеобогащение" подобраны смеси для антрацитовых ТЭС, которые по выходу летучих веществ близки к тощему углю, обеспечивают облегченные условия воспламенения и сжигания антрацита без подсветки и снижение механического недожога. Целевые показатели шихты для антрацитовых ТЭС следующие:

- содержание влаги $W_i^r = 8-9\%$,
- зольность $A^d = 22-24\%$,
- выход летучих веществ $V^{daf} = 8-12\%$ (не больше 15%),
- низшая теплота сгорания $Q_i^r = 21,770-23,445$ МДж/кг (5200-5600 ккал/кг).

Этим требованиям отвечает шихта следующего состава: 90% угля марки АШ (например, ПАО "ДТЭК" Ровенькиантрацит") с низким выходом летучих веществ и 10% угля марки Г (например, ПАО "ДТЭК" Добропольеуголь"). При шихтовании следует использовать концентраты марок А и Г близкой зольности, антрацит АШ крупностью 0-6 мм с низким выходом летучих веществ и газовый уголь крупностью 0-13 или 0-25 мм. Разница в крупности антрацита и газового угля обусловлена различной размолоспособностью углей этих марок. Более высокая размолоспособность газового угля компенсируется его большей крупностью.

Для ТЭС, которые сжигают каменный уголь марок Д, ДГ, Г первой категории качества, основным топливом при шихтовании являются угли марки Г или ДГ с добавлением подсушенного (в сушильном барабане или в паровой трубчатой сушилке) и отсортированного до 0-25 мм каменноугольного шлама с зольностью не более 40%, влажностью не более 11,4%, в количестве до 20% по массе. Целевые показатели шихты для ТЭС, сжигающих угли газовой группы: $W_i^r = 9-14\%$, $A^d = 22-24\%$, $V^{daf} = 32-42\%$ (не больше 45%), $Q_i^r = 4800-5019$ ккал/кг.

Вместо шлама для шихты можно использовать бурый уголь с влажностью не более 50%. Если влажность бурого угля не более 40%, допускается увеличение его доли в шихте до 25%. Для обеспечения равномерности шихтования бурый уголь рекомендуется предварительно классифицировать до крупности не более 0-25 мм. Целевые показатели шихты из газового и бурого угля следующие: $W_i^r = 17-18\%$, $A^d = 22-24\%$, $V^{daf} = 32-42\%$ (не больше 45%), $Q_i^r = 4750-4850$ ккал/кг. Повышенная влажность шихты в данном случае не вынуждает увеличивать влагосъем при ее размоле на ТЭС, в связи с тем, что целевая влажность пыли, обеспечивающая отсутствие залегания в пылесистеме, определяется гигроскопической влажностью, которая у бурого угля (12-14%) существенно выше, чем у газового (2-4%).

Загальні питання технології збагачення

Необходимое условие составления топливных смесей – однородность шихтования, обеспечивающая поступление в систему пылеприготовления и в горелки котлоагрегата топлива с постоянными калорийностью и выходом летучих веществ в каждый момент времени. Такая однородность может быть обеспечена только при непрерывном механизированном шихтовании, например, по технологии "один конвейер – два дозатора".

Институтом угольных энерготехнологий НАН Украины было обосновано, что количественной мерой однородности шихтования, по которой регулируется технологический процесс, является стандартное отклонение показателей в выборке точечных проб. Основная задача при отработке технологического процесса – добиться такой степени однородности получаемого топлива, чтобы при его стандартном опробовании по ДСТУ 4096 или по ДСТУ ISO 13909 "Угли каменные, антрацит и кокс. Механизированный отбор проб" погрешность определения показателей в объединенной пробе не превышала базовой погрешности опробования, установленной для сортированной угольной продукции. Так, для зольности угля более 20% при отборе 16 точечных проб из партии допустимая базовая погрешность опробования зольности по ДСТУ 4096 установлена $\pm 2\%$. Величина фактической погрешности опробования по ДСТУ ISO 13909 определяется по формуле:

$$P = 2s = 2\sqrt{V_{SPT}},$$

где s – стандартное отклонение для пробы из выборки точечных проб; V_{SPT} – общая дисперсия, которая является функцией дисперсии первичных точечных проб, количества точечных проб и погрешностей подготовки и анализа объединенной пробы:

$$V_{SPT} = \frac{V_1}{n} + V_{PT},$$

где V_1 – дисперсия первичных точечных проб (сумма квадратов отклонений результатов от их среднего значения, деленная на количество точечных проб минус единица); V_{PT} – дисперсия подготовки и анализа пробы; n – количество первичных точечных проб в объединенной пробе.

Определение дисперсии первичных точечных проб дает возможность оценить меру однородности шихты. Для определения зольности топлива в партии с базовой ошибкой опробования $\pm 2\%$ получен количественный критерий требуемой однородности шихтования $V_1 \leq 13$.

По выходу летучих веществ можно выделить 2 вида шихт: первый – $V^{daf} \leq 15\%$, второй – $V^{daf} \approx 40\%$. Для шихт первого вида существует хорошо выраженная зависимость между выходом летучих веществ и уровнем механического недожога. Поэтому необходима высокая точность определения выхода летучих веществ, ошибка опробования не должна превышать $\pm 1\%$, при этом ко-

Загальні питання технології збагачення

личественный критерий требуемой однородности шихтования $V_{SPT} \leq 0,25$, $V_1/16 \leq 0,2$, $V_1 \leq 3,2$. Для шихт второго вида возможна ошибка определения, такая же, как и для зольности: $P \leq \pm 2\%$. При этом критерий требуемой однородности шихтования $V_{SPT} \leq 1$, $V_1/16 \leq 0.46$, $V_1 \leq 7,4$.

Апробация "Методики шихтования" была проведена на 3-х разновидностях опытной шихты в промышленных объемах 70-140 тонн каждая. Характеристики шихты отвечали требованиям к тощему и газовому углю 1 категории качества. Были подготовлены следующие опытные смеси:

– из антрацита и угля марки ДГ с характеристиками: $Q_i^r = 5700$ ккал/кг, $W_t^r = 7,5\%$, $A^d = 20,3\%$ ($V_1 = 3,66$), $V^{daf} = 13,9\%$ ($V_1 = 1,68$);

– из шлама и концентрата угля газовой группы с характеристиками: $Q_i^r = 5490$ ккал/кг, $W_t^r = 7,7\%$, $A^d = 23,9\%$ ($V_1 = 5,40$), $V^{daf} = 38,6\%$ ($V_1 = 1,01$);

– из подсушенного бурого угля и концентрата ГСШ с характеристиками: $Q_i^r = 5640$ ккал/кг, $W_t^r = 9,8\%$, $A^d = 17,3\%$ ($V_1 = 10,56$), $V^{daf} = 40,3\%$ ($V_1 = 4,75$).

По заключению Института угольных энерготехнологий НАН Украины, неравномерность исследованных шихт по зольности и выходу летучих веществ на сухую беззольную массу не превышает уровня, характерного для сортированного угля. Поэтому опробование партий шихт может выполняться так же, как и сортированного угля по ДСТУ 4096. При этом базовая погрешность зольности не превышает $\pm 2\%$, по выходу летучих $\pm 1\%$, то есть на уровне, характерном для антрацита и тощего угля и $\pm 2\%$ на уровне, характерном для углей марок Д, ДГ, Г.

Выводы

Исследованиями установлено, что проблемы, возникающие на угольных ТЭС и связанные с недостатком определенных марок углей, в полной мере устранимы при применении в качестве топлива угольных шихт с заданными свойствами, составленных из антрацита с примесью газового угля (аналог угля марки Т) и из газового угля с примесью подсушенного шлама или бурого угля. Разработаны и апробированы требования к составу, компонентам шихт и технологии шихтования. Экспериментально доказано, что при их соблюдении шихты представляют собой однородные топлива, отвечающие требованиям ДСТУ 4096 по опробованию и ДСТУ 4083 по показателям для 1 категории качества для пылевидного сжигания. Поэтому указанные шихты должны классифицироваться не как смесь топлив, резко отличающихся по выходу летучих веществ, реакционной способности и размолоспособности, а как новые топлива с характеристиками, оптимизированными для пылевидного сжигания на существующих котлоагрегатах ТЭС.

© Филиппенко Ю.Н., Скляр П.Т., Харлова Е.В., Рудавина Е.В., Чернявский Н.В., 2013

*Надійшла до редколегії 17.04.2013 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. О.Д. Полуляхом*