УДК 621.311

Чернявский Н.В. − к.т.н., Институт угольных энерготехнологий НАН Украины, Киев, Украина
Косячков А.В. − к.т.н., Институт угольных энерготехнологий НАН Украины, Киев, Украина
Филиппенко Ю.Н. − ГП «УкрНИИуглеобогащение», Луганск, Украина
Рудавина Е.В. − ГП «УкрНИИуглеобогащение», Луганск, Украина
Воронов А.Н. − ГП «УкрНИИуглеобогащение», Луганск, Украина

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К ПОКАЗАТЕЛЯМ УГЛЕЙ ДЛЯ ПЫЛЕВИДНОГО СЖИГАНИЯ НА ТЭС И МЕТОДОВ ИХ ОПРОБОВАНИЯ

Работа посвящена развитию и практическому применению методов экспресс-контроля марочной принадлежности, однородности показателей угля в партиях и при шихтовании на ТЭС, а также расчета критерия взрываемости энергетических углей для обеспечения безопасности пылесистем тепловых электростанций.

Введение

За последние годы угольная продукция, поставляемая на ТЭС Украины, по таким показателям, как зольность, влажность, калорийность, в основном, приблизилась к эксплуатационным требованиям пылеугольных котлоагрегатов, что позволяет ее сжигать без подсветки в широком диапазоне регулирования нагрузки [1]. Однако при этом выявились проблемы, которым раньше не придавалось особенного значения. Первая из них связана с контролем марочной принадлежности углей. Известно [2, 3], что иногда под видом антрацита и тощего угля на электростанции поступает уголь с «копанок» - малых угольных предприятий, осуществляющих добычу из выходящих на поверхность пластов, заброшенных шахт и т.д. Подобный уголь может быть окисленным либо содержать высокую долю гидратной влаги, что осложняет его сжигание и повышает риск пожаро- и взрывоопасности при пылеприготовлении. Даже если такие угли смешивают с АШ или тощим углем для выравнивания характеристик в сборной пробе, нет никаких гарантий, что смешение произведено достаточно равномерно. Контроль однородности показателей угля в партиях на приходе или после дополнительного шихтования на ТЭС составляет вторую проблему [4]. На третью проблему – количественную оценку склонности углей к самовозгоранию и взрываемости – обратили внимание после пожара на Углегорской ТЭС в марте 2013 г.

© Чернявский Н.В., Косячков А.В., Филиппенко Ю.Н., Рудавина Е.В., Воронов А.Н. 2013

Настоящая работа посвящена развитию и практическому применению методов экспресс-контроля марочной принадлежности, однородности показателей и расчета критерия взрываемости энергетических углей.

Методы экспресс-контроля марочной принадлежности угля

Известно, что в ряду марок угля Д-ДГ-Г-Ж-К-ОС-Т-А выход летучих веществ снижается, калорийность возрастает до максимума для марок Ж, К, ПС, П, а для антрацита снова снижается (рост связан с уменьшением кислорода, а снижение - с уменьшением водорода в органическом веществе). ДСТУ 3472-96 «Угли бурые, каменные и антрацит. Классификация» дает диапазон выхода летучих веществ на сухую беззольную массу топлива V^{daf} для антрацита < 8%, для тощего угля 9-18%. Антрацит и тощий уголь являются единственными марками, граница между которыми установлена в том числе по калорийности на сухую беззольную массу топлива Q_s^{daf}: антрацит < 8400 ккал/кг (в среднем по Украине 8140 ккал/кг), тощий уголь 8400-8700 ккал/кг (в среднем по Украине 8500 ккал/кг).

Однако во всех случаях речь идет о показателях пробы, обогащенной до зольности $A^d \leq 10\%$ по ДСТУ 3472. Дело в том, что с ростом зольности показатели, пересчитанные на сухую беззольную массу, меняются: V^{daf} растет, Q_s^{daf} снижается. Это связано с тем, что определение зольности отражает лишь ту часть минеральной массы (ММ), которая не разложилась при прокаливании. Принятое отождествление сухого беззольного состояния топлива и органического вещества угля также неточно, поскольку при озолении уголь теряет не только органическое вещество, но и продукты разложения минерального вещества, прежде всего CO_2 карбонатов и гидратную влагу (рис. 1). Поэтому высокозольный антрацит, антрацитовый шлам или окисленный антрацит с «копанок» могут показывать выход летучих веществ V^{daf}, как тощий уголь. Но часть этих летучих - негорючие продукты разложения минерального вещества: CO_2 и гидратная влага.

Рис. 1. Вклад продуктов разложения минерального вещества угля в наблюдаемые значения выхода летучих веществ и сухой беззольной массы

Для того, чтобы уменьшить влияние разложения минерального вещества, при определении марки угля стандарты требуют работать с пробами, обогащенными до зольности менее 10%. Но, во-первых, не каждая углехимическая лаборатория может это сделать; во-вторых, при таком обогащении, если это смесь, один из компонентов может уходить в отходы больше другого, искажая результат; в-третьих, даже такая малая зольность все равно дает заметные искажения в результат. В работах Института угольных энерготехнологий (ИУЭ) НАН Украины с ГП «УкрНИИуглеобогащение» [5, 6], где использовали пробы, разделенные в тяжелых жидкостях на образцы различной зольности, удалось обобщить зависимости высшей теплоты сгорания и выхода летучих веществ на сухую массу угля в виде:

$$Q_s^d = Q_{s\,(0)}^{daf} \times (100 - K_{MM} \times A^d)/100, \quad (1)$$

$$V^d = V_{(0)}^{daf} \times (100\text{-}A^d)/100 + V^A \times A^d/100, \quad (2)$$

где величины высшей теплоты сгорания и выхода летучих веществ при «нулевой» зольности $Q_{s\,(0)}^{daf}$ и $V_{(0)}^{daf}$ остаются постоянными во всем диапазоне зольности, величина K_{MM} составляет в среднем 1,10 для марок А, Т, 1,12 - для марок Ж , ГЖ, Г, ДГ, Д, а «выход летучих минерального вещества» V^A находится в пределах 6 - 9%.

Значение $Q_{s\,(0)}^{daf}$ можно оценить по известной величине $Q_{s\,(об.)}^{daf}$, которую определяют по обогащенной пробе и приводят в сертификате качества угля. Для этого надо вспомнить, что значение $Q_{s\,(об.)}^{daf}$ при калориметрическом анализе обогащенной пробы (A^d » 9%) получено путем деления $Q_{s\,(об.)}^{d}$ на (1 - A^d/100). Для получения значения $Q_{s\,(0)}^{daf}$ с учетом K_{MM} величину $Q_{s\,(об.)}^{daf}$ следует разделить на (1 - $K_{MM} \cdot A^d/100$) и умножить на (1 - A^d/100), в числах - умножить на 0,91 и разделить на 0,901, что дает коэффициент 1,01:

$$Q_{s\,(0)}^{daf} = 1{,}01 \times Q_{s\,(об.)}^{daf}. \quad (3)$$

Отсюда следует уточненная формула расчета калорийности, внесенная в новую редакцию ДСТУ 4083-2012 «Угли каменные и антрацит для пылевидного сжигания на электростанциях. Технические условия», который вводится в действие с 1 июля 2013 г.:

$$Q_i^r = 1{,}01 \cdot Q_{s\,(об.)}^{daf} (100 - A^d \times K_{MM})(100 - W_t^r)/10000 -$$
$$- 583 \times [W_t^r + k \times (100 - A^d \times K_{MM}) \times (100 - W_t^r)/10000] \text{ (ккал/кг)}, \quad (4)$$

где K_{MM} равняется 1,10 для марок А, Т, 1,12 - для марок Ж, ГЖ, Г, ДГ, Д, коэффициент k, определяющий содержание водорода в угле, составляет 0,21 для антрацита и 0,46 для остальных марок, а величина

$Q_{s\ (об.)}^{daf}$ принимается по сертификату качества угля. Расчет калорийности по этой формуле отличается от данных лабораторного анализа не более, чем на 20-30 ккал/кг [6].

Установленные закономерности позволяют решить и обратную задачу. Есть данные лаборатории по влаге, золе, выходу летучих веществ и калорийности при фактической зольности. Необходимо определить:

- реальную марку угля (шлама);
- реальный выход летучих V^{daf}.

В качестве критериев выберем комбинацию $Q_{s\ (об.)}^{daf}$ и $V_{(об.)}^{daf}$. Мы знаем, что:

- при $Q_{s\ (об.)}^{daf} > 8300$ ккал/кг и $V_{(об.)}^{daf} = 8\text{-}18\%$ уголь соответствует марке Т;
- при $Q_{s\ (об.)}^{daf} = 7900\text{-}8300$ ккал/кг и $V_{(об.)}^{daf} \le 8\%$ уголь соответствует марке А;
- другие комбинации - это уголь с «копанок», у которого органическая часть окисленная ($Q_{s\ (об.)}^{daf}$ низкая) и/или в минеральной части много гидратной влаги ($V_{(об.)}^{daf}$ большой), или, возможно, смесь антрацита и газового угля.

Для пересчета величины $Q_{s\ (ф.з.)}^{daf}$, определенной по результату калориметрического анализа при фактической зольности, на величину $Q_{s\ (об.)}^{daf}$, которую можно использовать для экспресс-оценки марочной принадлежности, из соображений, аналогичных вышеприведенным, следует применить коэффициент 0,901/0,91 » 0,99:

$$Q_{s\ (об.)}^{daf} = 0{,}99\ Q_{s\ ф.з.}^{daf}(100 - A^d)/(100 - 1{,}1 \cdot A^d). \qquad (5)$$

Для пересчета величины $V_{(ф.з.)}^{daf}$, определенной по результату технического анализа при фактической зольности, на величину $V_{(об.)}^{daf}$, которую можно использовать для экспресс-оценки марочной принадлежности, можно воспользоваться выражением:

$$V_{(об.)}^{daf} = V_{(ф.з.)}^{daf} + V^A \times (1{,}1 - 100/(100 - A^d)). \qquad (6)$$

Для оценки «в среднем» можно принять $V^A = 8\%$. Для предельной оценки можно принять $V^A = 10\%$.

Пример 1. Лаборатория дает $Q_{s\ ф.з.}^{daf} = 7600$ ккал/кг, $V_{(ф.з.)}^{daf} = 10\%$, при $A^d = 40\%$.

$Q_{s\ (об.)}^{daf} = 0{,}99 \times 7600 \times (100 - 40)/(100 - 44) = 8061$ ккал/кг;

$V_{(об.)}^{daf} = 10 + 8 \times (1{,}1 - 100/(100 - 40)) = 5{,}47\%$. Несмотря на кажущийся высоким выход летучих веществ, уголь относится к типичному антрациту.

Пример 2. Лаборатория дает $Q_{s\ ф.з.}^{daf} = 8100$ ккал/кг, $V_{(ф.з.)}^{daf} = 10\%$, при $A^d = 30\%$.

$Q_{s\ (об.)}^{daf} = 0{,}99 \times 8100 \times (100 - 30)/(100 - 33) = 8378$ ккал/кг;

$V_{(об.)}^{daf} = 10 + 8 \times (1{,}1 - 100/(100 - 30)) = 7{,}37\%$. Согласно ДСТУ 3472, если $V_{(об.)}^{daf} < 8\%$, но $Q_{s\ (об.)}^{daf} \ge 8300$, то уголь следует отнести к марке Т.

Пример 3. Лаборатория дает $Q_{s\ ф.з.}^{daf} = 7400$ ккал/кг, $V_{(ф.з.)}^{daf} = 10\%$, при $A^d = 25\%$.

$Q_{s\ (об.)}^{daf} = 0{,}99 \times 7400 \times (100 - 25)/(100 - 27{,}5) = 7579$ ккал/кг;

$V_{(об.)}^{daf} = 10 + 8 \times (1{,}1 - 100/(100 - 25)) = 8{,}13\%$. По совокупности показателей, уголь относится к окисленной либо богатой гидратной влагой продукции с «копанок».

Приведенный метод оценки марочной принадлежности является экспрессным. Для арбитражного определения марки угля следует применить петрографический анализ согласно ДСТУ 3472.

Методы контроля однородности показателей угля в партии

Количественной мерой однородности показателей качества в партии топлива согласно ДСТУ ISO 13909:2005 «Угли каменные, антрацит и кокс. Механизированный отбор проб» является стандартное отклонение (корень квадратный из дисперсии) показателей в выборке точечных проб. Здесь под партией, согласно ДСТУ 4096-2002 «Угли бурые, каменные, антрацит, горючие сланцы и угольные брикеты. Методы отбора и подготовки проб к лабораторным испытаниям», понимается единоразовая отгрузка или количество угля, отгруженное или направленное на сжигание за определенный промежуток времени, характеризуемое одной объединенной пробой. Нарушение однородности топлива по зольности способно привести к нарушению стабильности воспламенения и горения факела, а по выходу летучих веществ – еще и к пожаро- и взрывоопасной ситуации в пылесистеме.

Основная задача при отработке технологического процесса – добиться такой степени однородности топлива, чтобы при его опробовании по требованиям ДСТУ 4096 или по ДСТУ ISO 13909 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:

$$P = 2s = 2\sqrt{V_{SPT}}\ , \tag{7}$$

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:

$$V_{SPT} = \frac{V_1}{n} + V_{PT}\ , \tag{8}$$

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, для зольности принимаемая равной 0,2; n – количество первичных точечных проб в объединённой пробе. Для определения зольности в партии с базовой погрешностью опробования ± 2% при отборе 16 точечных проб критерий требуемой однородности $V_1 \leq 13$, или среднеквадратичное отклонение ≤ 3,6% абс.

По выходу летучих веществ можно выделить 2 вида топлив: первый - с $V^{daf} \leq 15\%$ (для котлов, рассчитанных на сжигание антрацита и тощего угля), второй – с V^{daf} » 40% (для котлов, рассчитанных на сжигание углей газовой группы). Для топлив первого вида существует монотонная зависимость между выходом летучих веществ и уровнем механического недожога. Поэтому необходима высокая точность определения выхода летучих веществ, ошибка опробования не должна превышать ± 1%, при этом количественный критерий требуемой однородности $V_{SPT} \leq 0,25$, $V_1/16 \leq 0,2$, $V_1 \leq 3,2$. Для шихт второго вида возможна ошибка определения, такая же, как и для зольности: $P \leq 2\%$. При этом критерий требуемой однородности $V_{SPT} \leq 1$, $V_1/16 \leq 0,46$, $V_1 \leq 7,4$.

Апробация разработанной ИУЭ и ГП «УкрНИИуглеобогащение» методики контроля однородности топлива была проведена на 3-х разновидностях опытной шихты, смешанных по технологии «1 конвейер – 2 дозатора» в объемах 70 – 140 тонн каждая. 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, $W_t^r = 9,8\%$, $A^d = 17,3\%$ ($V_1 = 10,56$), $V^{daf} = 40,3\%$ ($V_1 = 4,75$).

В качестве примера результаты статистической обработки точечных проб первой смеси представлены на рис. 2. Они свидетельствуют о том, что плотности распределения точечных проб шихты по зольности и выходу летучих веществ на сухую беззольную массу близки к гауссову (нормальному) виду. Это делает правомерной статистическую обработку результатов по методике с взаимосвязью между дисперсией точечных проб и погрешностью опробования. Можно видеть, что величины дисперсии зольности и выхода летучих веществ для всех трех исследованных шихт не превышают указанных выше предельных значений. Такой метод

контроля однородности показателей угля можно рекомендовать как для поступающих партий, так и для топлива, направляемого на сжигание, если на какой-либо стадии топливоподготовки выполнялось его шихтование.

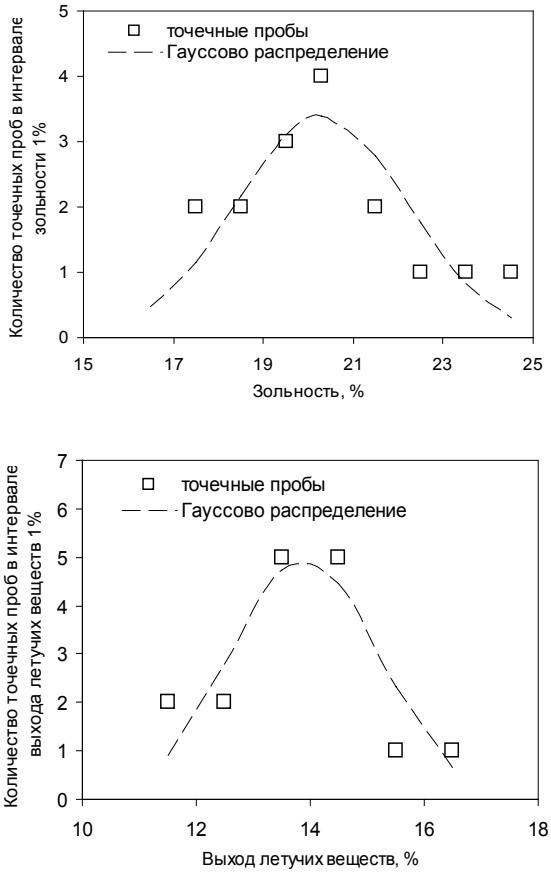

Рис. 2. Результаты статистической обработки точечных проб шихты из антрацита и угля марки ДГ (типа угля Г/А [4]) по зольности A^d и выходу летучих веществ V^{daf}

Метод и результаты расчета критерия взрываемости углей газовой группы

Пожар на Углегорской ТЭС 24 марта 2013 г. заставил обратить особое внимание на вопросы пожаро- и взрывобезопасности пылесистем.

Согласно выводов экспертной комиссии Госгортехнадзора Украины, причиной пожара стала разгерметизация пылесистемы. При этом установлено, что хотя пылесистема эксплуатировалась в соответствии с действующими нормативными требованиями, могли реализоваться условия для самовозгорания угольной пыли [7].

В настоящее время в Украине требования к пылесистемам ТЭС в зависимости от пожаро-и взрывоопасных свойств угля регламентируют такие нормативные документы: ГКД 34.03.301-93 «Правила взрывопожаробезопасности топливоподач электростанций» (разработан на основе советского РД 34.03.352-89) и ГКД 34.20.507-2003 «Техническая эксплуатация электрических станций и сетей. - Правила «. В этих документах топливо подразделяется на группы (по выходу летучих веществ): антрацитовый штыб, тощий уголь, каменный уголь с выходом летучих веществ 20-30%, каменный уголь с выходом летучих веществ более 30%, бурый уголь, сланцы, лигнит, торф. Для группы «каменный уголь с выходом летучих веществ более 30%», в которую согласно действующей классификации по ГОСТ 3472 и ДСТУ 4083 относится отечественный уголь марок Г и ДГ, поставляемый на Углегорскую ТЭС, в установках с бункером пыли при сушке дымовыми газами с содержанием кислорода не более 16% установлено предельную температуру пылегазовоздушной смеси за мельницей 120°С. Кроме выхода летучих веществ, других критериев пожаро-и взрывоопасности угля эти документы не содержат. Именно эти требования соблюдаются при эксплуатации пылесистем котлоагрегатов ТПП-312А Углегорской ТЭС.

Поскольку котлоагрегаты ТПП-312А произведены в СССР (ТКЗ «Красный котельщик» - теперь Россия), - целесообразно сравнить основные положения отечественных и российских нормативных документов по пожаро- и взрывоопасности угля. В СО 153-34.03.352-2003 «Инструкция по обеспечению взрывобезопасности топливоподачи и установок для приготовления и сжигания пылевидного топлива» для оценки взрывоопасных свойств твердого топлива рекомендуется использовать методику ВТИ по критерию взрываемости $К_т$. Донецкий газовый (справочные значения $К_т$ = 1,53-3,19) и длиннопламенный угли (справочные значения $К_т$ = 1,98-2,78) отнесены к III группе взрывоопасности ($1,5 \le К_т \le 3,5$), для которой требования к пылесистемам соответствуют тем, что содержатся в ГКД 34.03.301 и ГКД 34.20.507 для каменного угля с выходом летучих веществ более 30%. Однако в СО 153-34.03.352 содержатся только справочные значения $К_т$, а сама методика расчета величины $К_т$ для каждого конкретного угля отсутствует. Ее можно найти в РД 153-34.1-03.352-99 «Правила взрывобезопасности топливоподачи и установок для приготовления и сжигания пылевидного топлива», приложение Б. Эта методика использует как

исходные параметры содержание углерода, водорода и кислорода, выход летучих веществ и низшую теплоту сгорания на сухую беззольную массу топлива, а также зольность для сухого состояния угля. Исходя из них, рассчитывают теплоту сгорания летучих веществ, нижнюю концентрационную границу распространения пламени горючих компонентов летучих веществ в смеси с воздухом, то же самое с поправкой на нелетучие кокс и золу, и окончательно - величину критерия взрываемости $К_т$, следующим образом.

Сумма углерода, водорода и кислорода на сухую беззольную массу топлива, %:

$$S = C^{daf} + H^{daf} + O^{daf}. \quad (9)$$

Пересчет углерода, водорода, кислорода и выхода летучих веществ с сухой беззольной массы топлива на «кислородную массу», %:

$$C_0^{daf} = 100 \times C^{daf}/S,\ H_0^{daf} = 100 \times H^{daf}/S,\ O_0^{daf} = 100 \times O^{daf}/S,\ V_0^{daf} = 100 \times V^{daf}/S. \quad (10)$$

Пересчет теплоты сгорания с сухой беззольной массы топлива на «кислородную массу», кДж/кг:

$$Q_0^{daf} = 100 \times Q_i^{daf}/S. \quad (11)$$

Определение содержания углерода в коксе, % мас.:

$$C = C_0^{daf} + H_0^{daf} + O_0^{daf} - V_0^{daf}.$$

Определение теплоты сгорания летучих, кДж/кг:

$$Q_{лет} = \frac{Q_0^{daf} - 329 \cdot C_0^{кокс}}{V_0^{daf}} \cdot 100. \quad (12)$$

Определение нижнего концентрационного предела распространения пламени горючих компонентов в смеси с воздухом, %:

$$\mu_л^н = \frac{1260}{Q_{лет}} \cdot 100. \quad (13)$$

Определение нижнего концентрационного предела распространения пламени с учетом влияния нелетучего остатка (кокса и золы), %:

$$\mu_{лв.}^н = \frac{\mu_л^н \left(1 + \frac{100 - V^d}{V^d}\right) \cdot 100}{100 + \mu_л^н \frac{100 - V^d}{V^d}}, \quad (14)$$

где - объем летучих веществ на сухую массу топлива, %,

Определение критерия взрываемости:

$$K_T = \frac{V^d}{\mu^a_{лв.}}. \qquad (15)$$

Для расчета величин $К_т$ можно воспользоваться сертификатами генетических, технологических и качественных характеристик (далее - сертификаты) на уголь и угольную продукцию основных поставщиков, с такими уточнениями:

- в сертификатах кислород приведен только в сумме с азотом, для оценки отдельно кислорода из этой суммы следует вычесть среднее содержание азота на сухую беззольную массу угля (1,6% для донецкого угля марок Г, ДГ, Д [8]);

- в сертификатах приведены значения высшей теплоты сгорания на сухую беззольную массу топлива, которую следует пересчитать на низшую по ГОСТ 27313-95 (ИСО 1170-77) «Топливо твердое минеральное. Обозначение показателей качества и формулы пересчета результатов анализа для различных состояний топлива»;

- поскольку на ТЭС Украины поставляется не рядовой уголь, а угольные концентраты, фактическое значение зольности следует принимать по данным ТЭС. Так, в отчетных документах Углегорской ТЭС средняя зольность для сухого состояния угля, поданного на производство, в 2012 г. составила 23,0%, месячные отклонения не превышали + 0,5%.

Результаты расчета для некоторых крупных поставщиков донецких газовых углей (табл. 1) подтверждают принадлежность донецких газовых углей к III группе взрывоопасности по СО 153-34.03.352. С другой стороны, значения критерия $К_т$ оказались значительно большими, чем приведенные в СО 153-34.03.352 как справочные. Главной причиной смещения результатов представляется снижение в последнее десятилетие зольности углей в поставках на ТЭС Украины. Другой причиной смещения может быть неучет разложения минеральной части топлива при определении содержания элементов и выхода летучих веществ и их пересчете на сухую беззольную массу топлива. Более детальный анализ этих вопросов требует выполнения отдельной научно-исследовательской работы, по результатам которой следует поставить вопрос о внесении критерия $К_т$ в украинские нормативные документы по безопасности пылесистем.

Выводы

Разработанные методы экспресс-контроля марочной принадлежности, однородности показателей угля в партиях и при шихтовании на ТЭС и расчета критерия взрываемости энергетических углей могут быть использованы на ТЭС Украины для дальнейшего повыше-

Таблица 1.
Результаты расчета критерия взрываемости для донецких газовых углей

Шахта, ЗФ	ш. Россия	ш. Украина	ш.Кураховская	ш. Новогродовская	ш. Южно-Донб. №1	ЦОФ Украина	ЦОФ Украина	ЦОФ Россия	ОФ №105
Марка	Г	ДГ	ДГ	Г	ДГ	Г	ДГ	ДГ	Г
Исходные данные									
C^{daf}	80,08	78,56	78,96	81,65	82,17	80,85	82,24	81,85	84,00
H^{daf}	5,55	5,34	5,52	5,62	6,13	4,94	4,95	5,19	5,66
$(O+N)^{daf}$	10,47	12,24	12,15	9,04	9,91	10,96	8,68	9,52	7,90
O^{daf}	8,87	10,64	10,55	7,44	8,31	9,36	7,08	7,92	6,30
Σ	94,50	94,54	95,03	94,71	96,61	95,15	94,27	94,96	95,96
V^{daf}	43,1	42,3	43,7	42,2	40,9	42,9	42,5	43,8	36,0
Q_s^{daf}	33173	31952	32242	33991	34458	33339	33810	33689	34554
A^d	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0
V^d	33,19	32,57	33,65	32,49	31,49	33,03	32,73	33,73	27,72
Q_i^{daf}	31961	30786	31037	32764	33120	32261	32729	32556	33318
Результаты расчета									
C_0	84,74	83,10	83,09	86,21	85,05	84,97	87,24	86,19	87,54
H_0	5,87	5,65	5,81	5,93	6,35	5,19	5,25	5,47	5,90
O_0	9,39	11,25	11,10	7,86	8,60	9,84	7,51	8,34	6,57
V_0	45,61	44,74	45,99	44,56	42,34	45,09	45,08	46,12	37,52
Q_0	33822	32564	32660	34594	34282	33905	34719	34284	34721
$C_0^{кокс}$	54,39	55,26	54,01	55,44	57,66	54,91	54,92	53,88	62,48
$Q_{дет}$	34921	32150	32378	36702	36164	35129	36934	35900	37754
μ_1	3,61	3,92	3,89	3,43	3,48	3,59	3,41	3,51	3,34
μ_2	10,14	11,13	10,74	9,86	10,28	10,12	9,74	9,74	11,08
K_r	**3,27**	**2,93**	**3,13**	**3,29**	**3,06**	**3,26**	**3,36**	**3,46**	**2,50**

ния эффективности пылевидного сжигания и совершенствования условий пожаро- и взрывобезопасности пылесистем. После апробации в промышленных условиях целесообразно рассмотреть вопрос об их включении в состав нормативных документов.

Литература

1. Майстренко А.Ю., Чернявский Н.В. Влияние качества угля на эффективность его пылевидного сжигания на ТЭС Украины // Энергохозяйство за рубежом. – 2011. - № 5. – С. 23-28.

   Maystrenko A.Yu., Chernyavsky N.V. Influence of coal quality on the effectiveness of its pulverized combustion at power plants in Ukraine // Energohoziaystvo za rubezhom. – 2011. - № 5. – P. 23-28.

2. Майстренко А.Ю., Чернявский Н.В. Состояние и перспективы развития твердотопливной базы ТЭС Украины // Современная наука: Сб. научн. статей. – НПВК «Триакон», 2011. – №3(8). – С. 46-52.

   Maystrenko A.Yu., Chernyavsky N.V. Status and prospects of the development of solid-fuel power plants in Ukraine // Modern Science: Collection of Research Papers. – 2011. – №3(8). – P. 46-52.

3. Чернявский Н.В., Провалов А.Ю., Косячков А.В. Основные направления повышения эффективности топливоиспользования на ТЭС Украины // В сб.: Современная наука. – 2012. - № 3(11). – С.114-121.

   Chernyavsky N.V., Provalov A.Yu., Kosyachkov A.V. The main directions of fuel efficiency improving at thermal power stations in Ukraine // Modern Science: Collection of Research Papers. – 2012. - № 3(11). – P.114-121.

4. Опыт сжигания топливных смесей на ТЭС Украины и требования к их составлению / Чернявский Н.В., Голенко И.Л., Филиппенко Ю.Н., Рудавина Е.В. // Современная наука: Сб. научн. статей. – НПВК «Триакон», 2010. – №3(5). – С. 104-108.

   Experience of fuel mixtures burning at Ukrainian TPPs and the requirements for their preparation / Chernyavsky N.V., Golenko I.L., Filippenko Yu.N., Rudavina E.V. // Modern Science: Collection of Research Papers. – 2010. – №3(5). – P. 104-108.

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. – НПВК «Триакон», 2010. - №1(3). – С. 56-59.

Filippenko Yu.N., Rudavina E.V., Chernyavsky N.V. The ash content influence on the calorific value, volatile yield and sulfur content of the steam coal in Ukraine // Modern Science: Collection of Research Papers. – 2010. - №1(3). – P. 56-59.

6. Чернявский Н.В. Влияние обогащения энергетических углей на их калорийность и эффективность сжигания на тепловых электростанциях // Збагачення корисних копалин: науково-технічний збірник. – Дніпропетровськ, Нац. гірн. університет. - 2012. – Вип. 49(90). – С.10-22.

   Chernyavsky N.V. Influence of thermal coal enrichment on their heat value and combustion efficiency of thermal power plants // Zbagachennya korysnyh kopalyn. - 2012. – Is. 49(90). – P.10-22.

7. Александр Чмиренко: «Углегорская ТЭС будет полностью восстановлена в 2014 г.» // Официальный сайт ПАО «Центрэнерго», 29.04.2013. - http://www.centrenergo.com/ru/newsroom/news/item_130

   Alexander Chmirenko: «Uglegorskaya TPP will be fully restored in 2014» / / Official site of «Centrenergo», 29.04.2013. - http://www.centrenergo.com/ru/newsroom/news/item_130

8. Энергетическое топливо СССР (ископаемые угли, горючие сланцы, торф, мазут и горючий природный газ): Справочник / В.С. Вдовченко, М.И. Мартынова, Н.В. Новицкий, Г.Д. Юшина. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 184 с.

   Energy Fuel of the USSR (fossil coal, oil shale, peat, oil and natural gas): Handbook / V.S. Vdovchenko, M.I. Martynov, N.V. Nowicki, G.D. Yushina. - M. Energoatomizdat, 1991. – 184 pp.

Рукопись поступила 22.05.2013 г.