



УДК 662.66

## Новое угольное топливо для пылевидного сжигания на ТЭС

*На основании исследований углей различных марок определены состав угольной шихты для пылевидного сжигания на ТЭС и требования к составлению угольных смесей, при соблюдении которых шихта должна рассматриваться как новое топливо с оптимизированными характеристиками.*

Основное энергетическое сырье в Украине – уголь. Для нашей страны добыча угля имеет приоритетное значение, его доля в топливном балансе составляет около 25 % в пересчете на условное топливо. Ведущее место принадлежит каменноуголь, запасы которого составляют 56,2 млрд т и в основном (93 %) сосредоточены в Донецком угольном бассейне. Балансовые запасы угля в Украине по состоянию на 1 января 2010 г. составляют: категории А+В+С – 44710,4 млн т, категории С<sub>2</sub> – 11443,3 млн т; забалансовые запасы – 17370,4 млн т. Динамика добычи угля и его зольности приведена в таблице.

Зольность добываемых углей ежегодно возрастает, в то же время основным заданием для энергетики Украины на протяжении последнего десятилетия является снижение потребления на теплоэлектростанциях (ТЭС) природного газа и мазута.

Угольные электростанции занимают важное место в энергетике Украины. Установленные мощности угольных энергоблоков – 20,9 тыс. МВт, или более 40 % 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. ч. В результате ухудшения состояния оборудования и длительного использования топлива низкого качества установленная электрическая мощность ТЭС снизилась с 28,1 млн кВт в 1990 г. до 26,3 млн кВт в настоящий момент. Из них 5,4 млн кВт приходится на долю газомазутных блоков мощностью 300 и 800 МВт, которые практически не эксплуатируются. Остальные оснащены пылеугольными котлоагрегатами, в основном с жидким шлакоудалением, с проектной калорийностью от 20,9 МДж/кг для углей газовой группы до



**Ю. Н. ФИЛИППЕНКО,**  
канд. техн. наук  
(ГП «УкрНИИУглебогащение»)



**П. Т. СКЛЯР,**  
канд. техн. наук  
(ГП «УкрНИИУглебогащение»)



**Н. В. ЧЕРНЯВСКИЙ,**  
канд. техн. наук  
(Институт угольных энерготехнологий НАН Украины)



**Е. В. РУДАВИНА,**  
инж.  
(ГП «УкрНИИУглебогащение»)

Год	Добыча, тыс. т	Зольность A <sup>d</sup> , %	В том числе для энергетики	
			добыча, тыс. т	зольность A <sup>d</sup> , %
2002	80961,7	37,8	41120,1	38,5
2003	79576,0	38,0	41110,0	37,6
2004	79437,3	38,3	44725,5	38,4
2005	77247,0	38,0	44912,8	38,2
2006	78624,5	37,6	51892,6	38,2
2007	75095,4	38,1	49145,3	39,0
2008	77309,0	38,9	53091,0	39,5
2009	72522,5	38,6	50458,0	39,2
2010	75188,0	40,5	52401,9	39,7
2011	82823,4	39,2	58448,8	39,5



25,1 МДж/кг для антрацита и тощего угля. Из 14 ТЭС Украины 7 спроектированы для сжигания углей марок Г, ДГ, Д (газовой группы) – Углегорская, 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 можно свести 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 подсвечивания, так и снижения удельных затрат топлива на производство электроэнергии.

До 2002 г. средняя зольность углей в поставках на ТЭС составляла 38 – 40 %, доля газа и мазута в их топливной базе превышала 70 %, а уровень механического недожога угля на антрацитовых котлоагрегатах достигал 15 %. Принятые в Украине нормативные документы (ДСТУ 4083 «Уголь каменный и антрацит для пылевидного сжигания на тепловых электростанциях. Технические условия», ДСТУ 4096 «Уголь бурый, каменный, антрацит, горючие сланцы и угольные брикеты. Методы отбора и подготовки проб к лабораторным исследованиям» и ГРТ 34.09.110–2003 «Входной контроль топлива на ТЭС и организация претензионной работы. Методические указания») позитивно повлияли на развитие тепловой энергетики Украины, поскольку их внедрение приблизило требования по качеству угля к проектным требованиям пылеугольных котлоагрегатов, дало основание для браковки некачественного угля, а также для создания прогрессивных ценовых шкал. Это способствовало увеличению калорийности угля, поставляемого на ТЭС (рис. 1), что, совместно с мероприятиями по реабилитации энергоблоков, позволило исключить подсветку при сжигании углей газовой группы, снизить потребление газа на подсветку на антрациновых ТЭС в среднем до 6 %, механический недожог до 3 – 8 % для марок А и Т и до менее 1 % для газовой группы углей, а долю газа и мазута в топливной базе ТЭС – до менее 2 – 4 % (рис. 2).

Для антрациновых ТЭС актуальной остается задача организации пылевидного сжигания без подсветки во всем диапазоне регулирования нагрузки, особенно в условиях, когда газомазутные блоки практически не эксплуатируются. Здесь важны не только калорийность и зольность топлива, но и выход летучих веществ, облегчающих воспламенение факела. Опыт Луганской ТЭС показывает, что устойчивого воспламенения и сжигания без подсветки можно добиться, сжигая шихту антрацита с 25 – 35 % тощего угля. Однако добытого тощего угля недостаточно для обеспечения им всех антрациновых ТЭС в нужном количестве. Для углей газовой группы важной задачей остается снижение стоимости угольной продукции надлежащего качества и расширение топливной базы. Эти и другие задачи можно решить путем составления топливных смесей с заданными показателями качества, что предусмотрено в новой редакции ДСТУ 4083, вводимой в действие с 1 июля 2013 г. В общем составление топливных смесей для сжигания на ТЭС целесообразно из-за следующих причин:

- необходимости улучшения условий воспламенения и снижения механического недожога пылевидного антрацита с низким выходом летучих веществ;
- покрытия дефицита угля определенной марки;
- снижения стоимости угольной продукции;

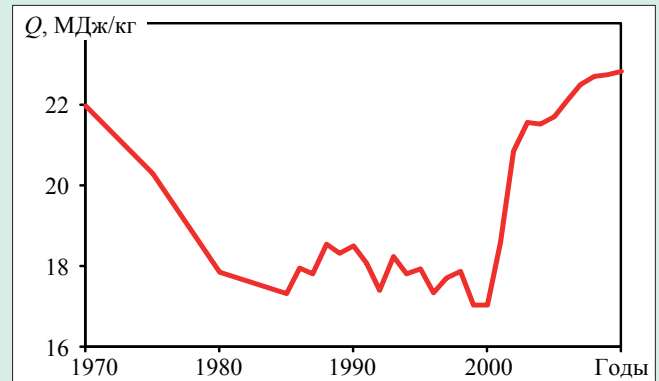


Рис. 1. Динамика калорийности  $Q$  угля, поставляемого на ТЭС Украины, за последние 40 лет.

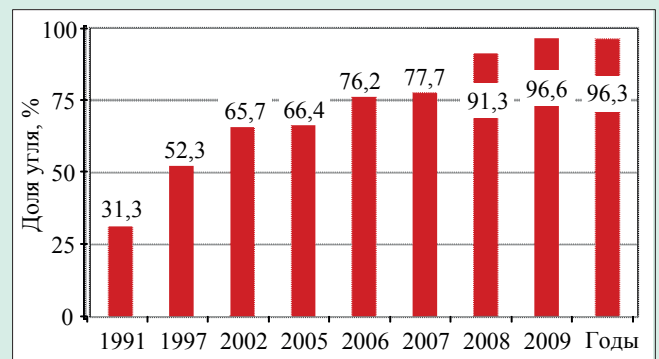


Рис. 2. Динамика роста доли угля в топливной базе ТЭС Украины.



• необходимости сбыта непроектной или неликвидной угольной продукции со снижением ее зольности, влажности и содержания серы.

В целях расширения топливной базы и диверсификации поставок на ТЭС, повышения эффективности пылевидного сжигания за счет уменьшения подсветки и механического недожога ГП «УкрНИИУглебогащение» совместно с Институтом угольных энерготехнологий НАН Украины разработало и апробировало «Методику шихтования угля для пылевидного сжигания», которая 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 шлак, высокозольный отсев и малозольный, могут возникнуть лишь небольшие технологические трудности (снижение производительности мельниц, увеличение механического недожога топлива), то смешивание разных марок угля, в том числе непроектных, создает 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 смешивание происходит на угольном складе ТЭС, где невозможно обеспечить постоянство состава смеси и равномерность шихтования. В «Методике» принят иной подход: цель – составление шихт оптимального состава с высокой равномерностью показателей, которые, по сути, являются новыми топливами с заданными свойствами. Исходя из этого подхода, шихты должны соответствовать следующим требованиям:

- отвечать техническим условиям ДСТУ 4083–2002;
- быть оптимальной калорийности согласно проектным требованиям к котлоагрегатам тепловых электростанций;
- обеспечивать пожаро- и взрывобезопасность систем пылеприготовления и котлоагрегатов;
- быть пригодными для условий шлакоудаления на ТЭС;
- компоненты смеси должны быть одинаковых или близких классов крупности для обеспечения равномерности размола;
- 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 пы-

леугольных котлоагрегатов. К первой категории качества по новой редакции ДСТУ 4083 относится уголь, который обеспечивает стабильные условия сжигания без подсветки в диапазоне нагрузок котлоагрегатов от 60 до 100 % 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 20,1 и 21,7 МДж/кг соответственно.

Подобраны смеси для антрацитовых ТЭС, которые по выходу летучих веществ близкие к тощему углю, обеспечивают облегченные условия воспламенения и сжигания антрацита без подсветки, а также снижение механического недожога. Целевые показатели шихты для антрацитовых ТЭС следующие:

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

Этим требованиям отвечает шихта следующего состава: 90 % угля марки антрацита и антрацитового шлама (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 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:  $W_t^r = 9 \dots 14 \%$ ,  $A^d = 22 \dots 24 \%$ ,  $V^{daf} = 32 \dots 42 \%$  (не больше 45 %),  $Q_i^r = 20,1 \dots 21$  МДж/кг.

Вместо шлама для шихты можно использовать бурый уголь 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 25 мм. Целевые показатели шихты из газового и бурого угля следующие:  $W_t^r = 17 \dots 18 \%$ ,  $A^d = 22 \dots 24 \%$ ,  $V^{daf} = 32 \dots 42 \%$  (не





больше 45 %),  $Q_i^r = 19,8 \dots 20,3$  МДж/кг. Повышенная влажность шихты в данном случае не вынуждает увеличивать влагосъем при ее размоле на ТЭС. Дело в том, 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 %).

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 установлена допустимая базовая погрешность опробования зольности по ДСТУ 4096 –  $\pm 2\%$ . Фактическая погрешность 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,

$$V_{SPT} = (V_1/n) + V_{PT},$$

$V_1$  – 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 два 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 количественный 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  $V_{SPT} \leq 1$ ,  $V_1/16 \leq 0,46$ ,  $V_1 \leq 7,4$ .

Методика шихтования была апробована на трех разновидностях опытной шихты в промышленных объемах 70 – 140 т каждая. Характеристики шихты отвечали требованиям к тощему и газовому углю 1-й категории качества. Были подготовлены следующие опытные смеси:

- из антрацита и угля марки ДГ ( $Q_i^r = 23,8$  МДж/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 ( $Q_i^r = 22,9$  МДж/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 ( $Q_i^r = 23,6$  МДж/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  $\pm 1\%$  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 устраняемы 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 однородное топливо, отвечающее требованиям ДСТУ 4096 по опробованию и ДСТУ 4083 по показателям для 1-й категории качества для пылевидного сжигания. Поэтому указанные шихты должны классифицироваться не как смесь топлива, резко отличающегося по выходу летучих веществ, реакционной способности и размолоспособности, а как новое топливо с характеристиками, оптимизированными для пылевидного сжигания на существующих котлоагрегатах ТЭС.