

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

**ВЛИЯНИЕ ОБОГАЩЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УГЛЕЙ
НА ИХ КАЛОРИЙНОСТЬ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ СЖИГАНИЯ
НА ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ**

К энергетическим относят угли марок Д, ДГ, Г, Ж, Т, А, большую часть из которых, а именно – концентраты классов 0-6, 0-13, 0-25, 0-100 мм, используют для пылевидного сжигания на ТЭС. Соответственно, эффективность обогащения энергетических углей следует оценивать по эффективности производства из них конечного продукта – электрической и тепловой энергии.

За исключением двух новых энергоблоков (с котлоагрегатом ЦКС на Старобешевской ТЭС и с котлоагрегатом с интегрированными плавильными предтопками на Змиевской ТЭС), все остальные блоки ТЭС Украины построены в 50-70-х годах (табл. 1). Их пылеугольные котлоагрегаты проектировались для сжигания углей с зольностью 18-25%, в основном с жидким шлакоудалением. Средняя наработка блоков превышает 250 тыс. часов, у некоторых – 300 тыс. часов. Газомазутные блоки в настоящее время не эксплуатируются [1].

Таблица 1

Электростанция	Марка угля	Мощность энергоблоков проектная, МВт _з	Количество блоков	Годы ввода в эксплуатацию	Мощность энергоблоков фактическая, МВт _з
Луганская	А, Т	8×200	8	1961–1969	8×175
Старобешевская	А, Т	10×200	10	1961–1967	9×175+210***
Славянская	А, Т	800	1	1967–1971	720
Углегорская	Г, ДГ	4×300+3×800*	7	1972–1977	4×300+3×800*
Кураховская	Г, ДГ	200+6×210	7	1971–1975	200+6×210
Зуевская	Г, ДГ	4×300	4	1982–1988	4×276
Приднепровская	А, Т	4×150+4×300	8	1958–1965	4×285+4×150
Криворожская	Т	10×300	10	1965–1973	10×282
Запорожская	Г, ДГ	4×300+3×800*	7	1972–1979	4×250+3×800*
Змиевская	А, Т	6×200+4×300	10	1960–1969	6×175+3×268+320***
Трипольская	А, Т	4×300+2×300*	6	1969–1972	4×290+2×300*
Ладыжинская	Г, ДГ	6×300	6	1970–1971	6×296
Добротворская	Г, ДГ	2×150+3×100	5	1953–1964	2×130+3×60
Бурштынская	Г, ДГ	12×200	12	1965–1969	12×175
ВСЕГО		28060/22660****	101		26279/20879****

* Газомазутные энергоблоки. Остальные блоки угольные.

** Котлоагрегаты с твердым шлакоудалением. На остальных – жидкое шлакоудаление.

*** Новые и реконструированные угольные энергоблоки.

**** Мощность угольных энергоблоков.

Условием устойчивого горения и жидкого шлакоудаления при пылевид-
Збагачення корисних копалин, 2012. – Вип. 49(90)

Загальні питання технології збагачення

ном сжигании является поддержание в нижней части топки температуры жидкотекучего состояния шлака – более 1500 °С. При этой температуре и заданной тонине помола пыли в ядре факела должно сгорать более 80% горючей части топлива, обеспечивая поддержание теплового баланса в нижней части топки [2]. При уменьшении нагрузки приходная часть теплового баланса (рис. 1) снижается быстрее, чем расходная, из-за чего баланс сдвигается в сторону более низких температур. Это ухудшает условия жидкого шлакоудаления вплоть до зашлаковки пода котла, а также условия горения, в первую очередь долю сгоревшего топлива, вплоть до погасания факела. Увеличение влажности и зольности топлива негативно влияет на тепловой баланс прямо (за счет увеличения потерь на испарение влаги, с теплом золы и шлака) и косвенно (за счет снижения сушильной и размольной по горючей массе производительности мельниц).

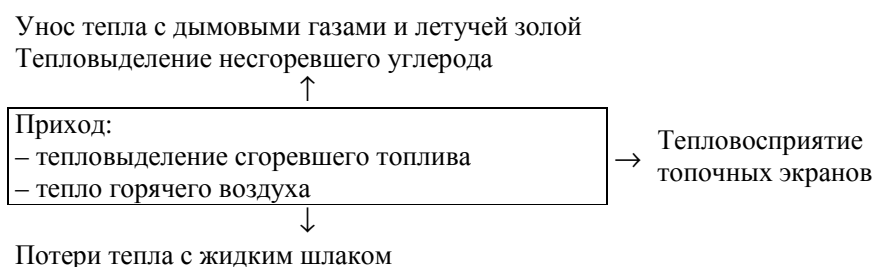


Рис. 1. Тепловой баланс нижней части топки – зоны активного горения

Традиционным способом поддержания теплового баланса зоны активного горения является подсветка факела газом или мазутом. На основании многочисленных испытаний установлено, что необходимая доля подсветки возрастает со снижением нагрузки котла, калорийности и выхода летучих веществ топлива, что и внесено в действующие нормативы (рис. 2). Однако за счет того, что более реакционное топливо расходует часть окислителя в корне факела, угольная пыль в факеле горит в условиях пониженной концентрации кислорода, и степень ее выгорания за время пребывания в топке снижается. Таким образом, *снижение калорийности угля приводит к ухудшению эффективности его сжигания за счет как увеличения расхода дорогого газомазутного топлива на подсветку факела, так и снижения степени выгорания* (увеличения мехнедожога). С учетом этого, в ДСТУ 4083-2002 для угля 1-й категории качества, не требующей подсветки при пылевидном сжигании, установлены нижние границы калорийности: марки А, Т – 5200 ккал/кг, марки Г, ДГ, Д – 4800 ккал/кг.

В отличие от ТЭС, где основной технологической характеристикой угля является калорийность, на обогатительных фабриках, где большинство методов обогащения основано на разнице плотностей органического и минерального вещества угля, таковой является зольность. В условиях, когда оснащённость лабораторий ТЭС позволяет выполнять калориметрический анализ не только суточных проб топлива на производство, но и объединенных проб от каждой поступающей партии, а лабораторий ОФ – в лучшем случае объединенных проб за месяц, актуальным является внедрение методов расчетного определения кало-

рийности угля каждой марки по влажности W_t^r и зольности на сухую массу A^d .

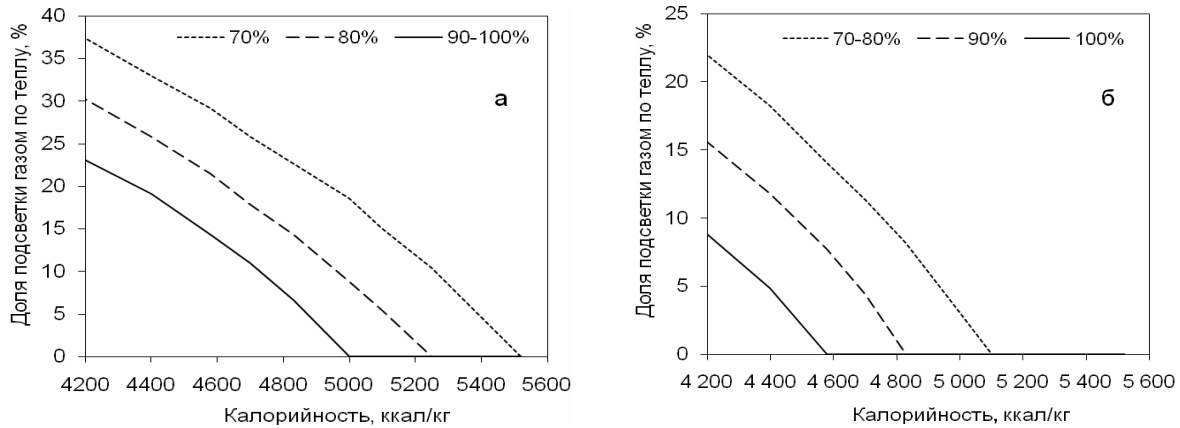


Рис. 2. Действующие нормативы подсветки факела в зависимости от калорийности при различной нагрузке котлоагрегата:
а – антрацит; б – тощий уголь

Эта задача не столь тривиальна, как кажется на первый взгляд. Дело в том, 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 является неточным, поскольку к сухой беззольной массе, которая теряется при озолении, относятся и продукты разложения минерального вещества, прежде всего CO_2 карбонатов и гидратная влага (рис. 3).

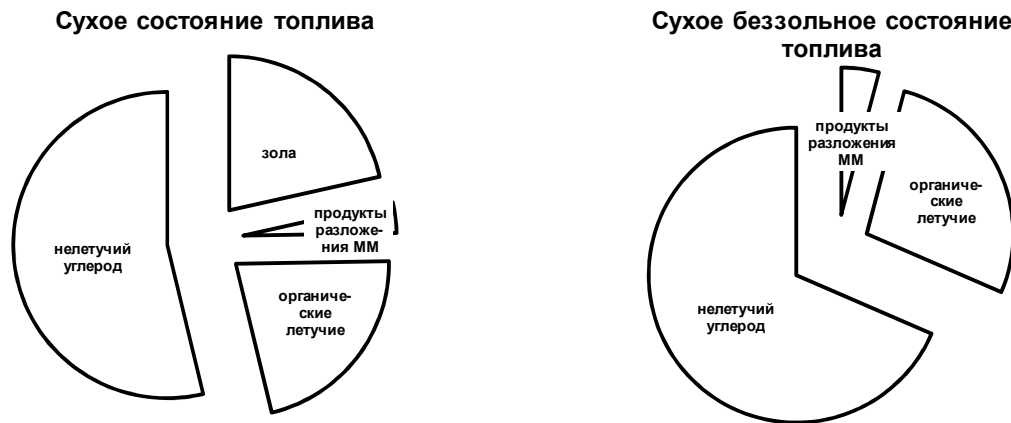


Рис. 3. Вклад продуктов разложения минерального вещества угля в наблюдаемые значения выхода летучих веществ и сухой беззольной массы

В настоящее время стандартизован лишь метод определения CO_2 карбонатов (ГОСТ 13455-91), но в силу сложности ни он, ни метод химического определения минерального вещества (ГОСТ 29086-91) на практике не используются. Из-за этого установленный в ДСТУ 4083-2002 расчетный метод определения низшей теплоты сгорания на рабочую массу топлива Q_i^r , ккал/кг, по фор-

Загальні питання технології збагачення

муле, согласованной с ГОСТ 27313-95:

$$Q_i^r = Q_s^{daf} (1-A^d/100)(1-W_t^r/100) - 583 [W_t^r/100 + k \cdot (1-A^d/100) (1-W_t^r/100)], \quad (1)$$

где Q_s^{daf} – высшая теплота сгорания угля данной марки, определенная по пробе с зольностью не более 10%, k – коэффициент, учитывающий содержание водорода в угле с пересчетом на воду (усредненные значения 0,46 для бурого и каменного угля, 0,21 для антрацита), в диапазоне зольности 20-30% завышает результат по сравнению с калориметрическим анализом на 50-200 ккал/кг [3].

Кроме того, для контроля марочной принадлежности угля величину Q_s^{daf} стандартно требуется определять по обогащенным пробам с зольностью менее 10%. На практике как на ТЭС, так и на ОФ ее определяют по пробам с фактической зольностью, что приводит к заметным расхождениям с величиной, внесенной в сертификат данного топлива, и является источником спорных вопросов между ТЭС и угольными предприятиями.

В работах [3, 4] специалистами ГП "Укрниуглеобогащение" и Института угольных энерготехнологий исследованы пробы углей энергетических марок, отобранные на 8 крупнейших угольных предприятиях и разделенные в тяжелой жидкости на образцы с зольностью от 8 до 50%. Установлено, что зависимости $Q_s^d = f(A^d)$ линейны с коэффициентами корреляции не ниже 0,9995 и аппроксимируются выражениями

$$Q_s^d = Q_s^{daf(0)} (100 - K_{MM} \cdot A^d)/100, \quad (2)$$

где величина высшей теплоты сгорания при "нулевой" зольности $Q_s^{daf(0)}$ остается постоянной во всем диапазоне зольности, а величина K_{MM} составляет в среднем 1,10 для марок А, Т, 1,12 – для марок Ж, ГЖ, Г, ДГ, Д.

Значения $Q_s^{daf(0)}$ можно оценить по известной величине $Q_s^{daf(об.)}$, которую определяют по обогащенной пробе и приводят в сертификате качества угля. Для этого надо вспомнить, что значение $Q_s^{daf(об.)}$ при калориметрическом анализе обогащенной пробы ($A^d \approx 9\%$) получено путем деления $Q_s^d(об.)$ на $(1 - A^d/100)$. Для получения $Q_s^{daf(0)}$ с учетом K_{MM} величину $Q_s^{daf(об.)}$ следует поделить 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. Таким образом, в уточненном виде:

$$Q_i^r = 1,01 \cdot Q_s^{daf(об.)} (100 - A^d \cdot K_{MM})(100 - W_t^r)/10000 - 583 \cdot [W_t^r + k \cdot (100 - A^d \cdot K_{MM}) \cdot (100 - W_t^r)/10000] \text{ (ккал/кг)}, \quad (3)$$

где K_{MM} равен 1,10 для марок А, Т, 1,12 – для марок Ж, ГЖ, Г, ДГ, Д, а $Q_s^{daf(об.)}$ принимается по сертификату качества угля. Лучшее совпадение с фактическими расчетных значений по формуле (3) для антрацита и газового угля проиллюстрировано на рис. 4.

Для пересчета величины $Q_s^{daf(ф.з.)}$, определенной из результата калориметрического анализа при фактической зольности, на величину $Q_s^{daf(об.)}$, которую

Загальні питання технології збагачення

можно сравнить с сертификатным значением, из соображений, аналогичных вышеприведенным, следует применить коэффициент $0,901/0,91 \approx 0,99$:

$$Q_s^{\text{daf}}(\text{об.}) = 0,99 Q_s^{\text{daf}}_{\text{ф.з.}}(100 - A^{\text{d}})/(100 - A^{\text{d}} \cdot K_{\text{ММ}}). \quad (4)$$

Лучшее совпадение с $Q_s^{\text{daf}}(\text{об.})$ высшей теплоты сгорания на сухую беззольную массу, рассчитанной по формуле (4), для антрацита и газового угля проиллюстрировано на рис. 5. Методы расчета Q_i^{r} по формуле (3) и оценки $Q_s^{\text{daf}}(\text{об.})$ по формуле (4) вошли в новую редакцию ДСТУ 4083, поданную на утверждение в Держспоживстандарт Украины.

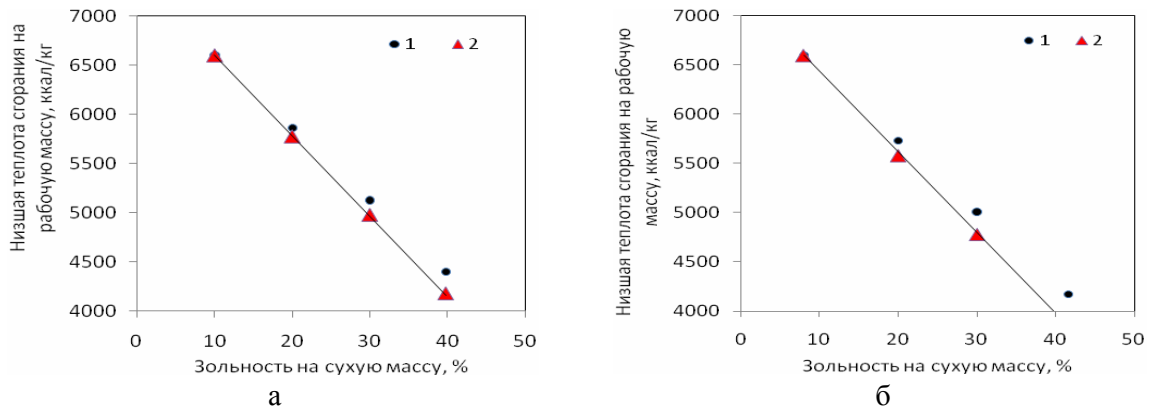


Рис. 4. Сравнение калорийности при различной зольности антрацита ш. Красный партизан, $W_t^{\text{r}} = 7,0\%$ (а) и газового угля ш. Добропольская, $W_t^{\text{r}} = 8,9\%$ (б): 1 – расчет по формуле (1); 2 – данные анализа, прямая – расчет по формуле (3)

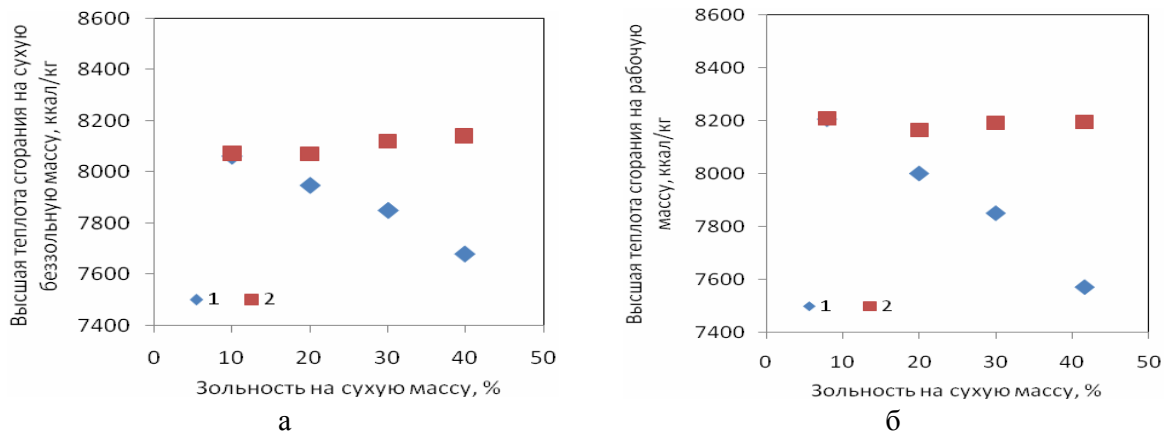


Рис. 5. Значения высшей теплоты сгорания на сухую беззольную массу при различной зольности антрацита ш. Красный партизан (а) и газового угля ш. Добропольская (б): 1 – $Q_s^{\text{daf}}_{\text{ф.з.}}$; 2 – расчет $Q_s^{\text{daf}}(\text{об.})$ по формуле (4)

В табл. 2 приведены расчетные значения Q_i^{r} для энергетических углей Украины при разной зольности, ккал/кг, рассчитанные по формуле (3) с использованием усредненных по маркам или предприятиям значений Q_s^{daf} , при W_t^{r} : антрацит – 7,6%, тощий – 8,6%, газовая группа – 8,9% [5]. Продукция, соответст-

Збагачення корисних копалин, 2012. – Вип. 49(90)

Загальні питання технології збагачення

вующая 1-й категории качества с допустимой погрешностью анализа, затенена.

Таблица 2

Марка	Производитель	Q _s ^{daf}	Зольность A ^d , %							
			18	20	22	24	26	28	30	32
А	ГП "Ровенькиантрацит"	7791	5696	5539	5381	5224	5066	4909	4751	4594
	ГП "Свердловантрацит"	8218	6016	5850	5683	5517	5351	5185	5018	4852
Т	Донецкая обл.	8500	6046	5879	5712	5545	5377	5210	5043	4876
Г	Донецкая обл.	8174	5758	5595	5432	5269	5106	4943	4780	4617
	Львовская обл.	8340	5880	5713	5547	5380	5214	5048	4881	4715
ДГ	Донецкая обл.	7952	5595	5436	5278	5119	4961	4803	4644	4486
	Днепропетровская обл.	8085	5692	5531	5370	5209	5048	4887	4725	4564
	Волынская обл.	7706	5414	5261	5107	4954	4801	4647	4494	4341
Д	Донецкая обл.	7500	5263	5114	4964	4815	4666	4517	4368	4219

Данные табл. 2 свидетельствуют о том, что даже в пределах одной марки и при одной влажности и зольности калорийность углей может существенно отличаться. Поскольку в конечном счете оплата угольной продукции производится из средств, полученных за отпущенную электроэнергию, и следовательно, пропорциональна количеству полученной из угля теплоты, рано или поздно назреет необходимость перехода на ценообразование по калорийности угля.

На основании приведенных результатов можно обосновать соотношение цен угля в эквиваленте условного топлива (у.т., с калорийностью 7000 ккал/кг) по категориям качества. Для примера в качестве исходного угля 2-й категории качества (пригодной для сжигания с подсветкой) возьмем антрацит ГП "Свердловантрацит" с зольностью A_{исх} = 30% (5018 ккал/кг), ценой Ц_{уг}, а в качестве целевого продукта 1-й категории, пригодного для сжигания без подсветки, – концентрат того же угля с зольностью A_{прод} = 24% (5517 ккал/кг), ценой Ц_{конц}. Если пренебречь изменением влажности при обогащении, то выход продукта V_{прод} можно рассчитать по балансу расхода общего и зольной части угля, продукта и отходов с зольностью A_{отх} ≈ 75%:

$$V_{\text{прод}} = (A_{\text{исх}} - A_{\text{прод}}) / (A_{\text{отх}} - A_{\text{прод}}) = 0,882. \quad (5)$$

Стоимость продукта равна стоимости исходного угля плюс затраты на его транспорт на ОФ и на обогащение, которые в первом приближении суммарно можно оценить в 15% от стоимости исходного угля. Тогда стоимость продукта, полученного из 1000 т исходного угля, определится из соотношения:

$$882 \cdot C_{\text{прод}} = 1,15 \cdot 1000 \cdot C_{\text{исх}}; C_{\text{прод}} = 1,30 \cdot C_{\text{исх}}, \quad (6)$$

а в эквиваленте условного топлива:

$$882 \cdot C_{\text{прод}}^{\text{у.т.}} \cdot 5517 / 7000 = 1,15 \cdot 1000 \cdot C_{\text{исх}}^{\text{у.т.}} \cdot 5018 / 7000; C_{\text{прод}}^{\text{у.т.}} = 1,19 \cdot C_{\text{исх}}^{\text{у.т.}}, \quad (7)$$

т.е. в эквиваленте условного топлива цена продукта по сравнению с ценой ис-

Загальні питання технології збагачення

ходного угля должна возрасти за счет расходов на транспорт, обогащение и потери горючей массы с отходами.

С другой стороны, при сжигании на ТЭС при средней нагрузке котлоагрегата 80% для получения равного количества тепла можно сжечь концентрат 1-й категории без подсветки или более дешевый уголь 2-й категории с подсветкой более дорогим природным газом с расходом 12% по теплу (рис. 2), а обоснованием соотношения их цен будет равенство суммарных затрат на топливо. Если при этом считать мехнедожог одинаковым, для упрощения учесть НДС и транспорт топлива на ТЭС только в соотношении цены газа и угля в эквиваленте условного топлива $C_{\text{г}}^{\text{у.т.}} = 1,6 \cdot C_{\text{конц}}^{\text{у.т.}}$, то это условие можно выразить в виде:

$$C_{\text{конц}}^{\text{у.т.}} = 0,88 \cdot C_{\text{исх}}^{\text{у.т.}} + 0,12 \cdot 1,6 \cdot C_{\text{конц}}^{\text{у.т.}}; C_{\text{конц}}^{\text{у.т.}} = 0,74 \cdot C_{\text{исх}}^{\text{у.т.}}. \quad (8)$$

Из выражения (8) следует, что цена единицы низшей теплоты сгорания исходного угля 2-й категории должна составлять не более 74% цены единицы низшей теплоты сгорания концентрата 1-й категории качества. При разработке ДСТУ 4083-2002 эти соотношения были обобщены по маркам и установлены как коэффициенты энерготехнологической ценности по категориям: 1-я – 1,0, 2-я – 0,75, 3-я (промпродукт) – 0,5, 4-я (шлам) – 0,3. На практике, с учетом отсутствия сплошного калориметрического анализа партий у поставщиков, цена угля определялась по прогрессивной шкале скидок-надбавок: в пределах 1-й категории качества – скидка-надбавка в 2,5% от базовой цены за каждый 1% отклонения зольности от базового значения, за ее пределами – скидка в 5% от базовой цены за каждый 1% отклонения зольности от значения на границе категорий.

На наш взгляд, именно ценовая шкала с возрастанием цены единицы низшей теплоты сгорания угля с повышением его низшей теплоты сгорания, стимулирующая угольные предприятия отпускать, а тепловые электростанции – покупать более дорогие высококалорийные концентраты, обеспечила повышение калорийности углей, поставляемых на ТЭС, с внедрением ДСТУ 4083 в 2002 г. (рис. 6). Второй существенный подъем калорийности на рис. 6 связан с ужесточением в 2007 г. прогрессивной ценовой шкалы (табл. 3) с целью полного отказа от подсветки в условиях резкого удорожания импортируемого природного газа ($C_{\text{г}}^{\text{у.т.}} > 2,2 \cdot C_{\text{конц}}^{\text{у.т.}}$). В этой шкале базовая зольность принята в соответствии с проектными требованиями существующих пылеугольных котлоагрегатов, базовая влажность – в соответствии с сушильной производительностью мельниц и допустимой влажностью пыли по маркам угля. Результаты применения этой шкалы – увеличение доли обогащаемых энергетических углей от 60% до более 80%, снижение зольности (рис. 7), повышение калорийности на приходе ТЭС до 5400-5450 ккал/кг, на производство – до 5300-5350 ккал/кг [6], и соответственно – снижение доли газа в топливной базе ТЭС до 3-4% в 2009-2010 гг. (рис. 8) и до менее 2% в 2011 г. [1].

Загальні питання технології збагачення

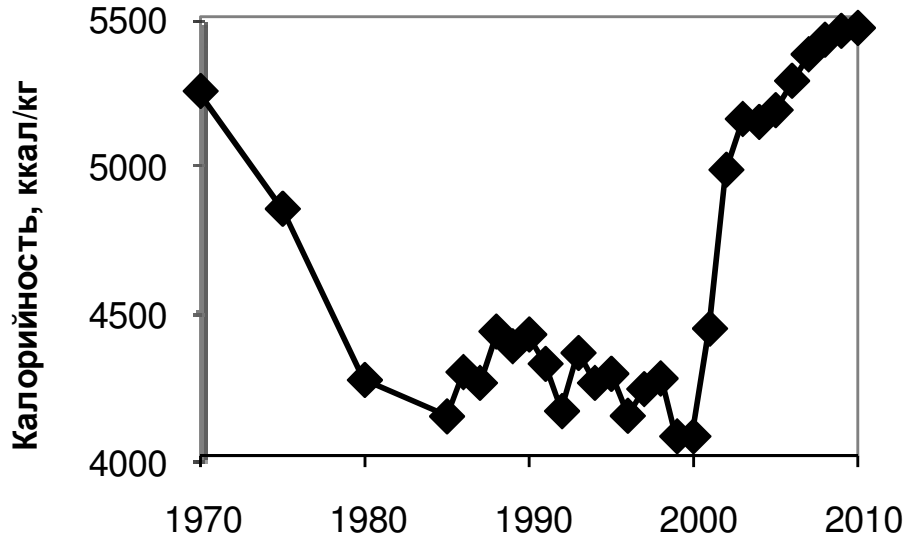


Рис. 6. Динамика калорийности угля на приходе ТЭС Украины за последние 40 лет

Таблица 3

Марка угля	А	Т	Г, ДГ
Базовое качество	$A^d=19,8\%$, $W_t^r=7,6\%$ 5800 ккал/кг	$A^d=20,2\%$, $W_t^r=8,6\%$ 5880 ккал/кг	$A^d=23,0\%$, $W_t^r=8,9\%$ 5300-5400 ккал/кг
Базовая цена	771 грн./т (на 01.02.2012, без НДС и транспорта)		
Скидка-надбавка за 1% отклонения зольности от базовой в пределах A^d , %			
2,5	18-22	18-24	20-25
3,5	22-25	24-26	25-27
7,0	> 25	> 26	> 27
Скидка за 1% отклонения влажности от базовой в пределах W_t^r , %			
1,3	7,6-10,0	8,6-10,0	8,9-12,0
5,0	10-11	10-11	12-14

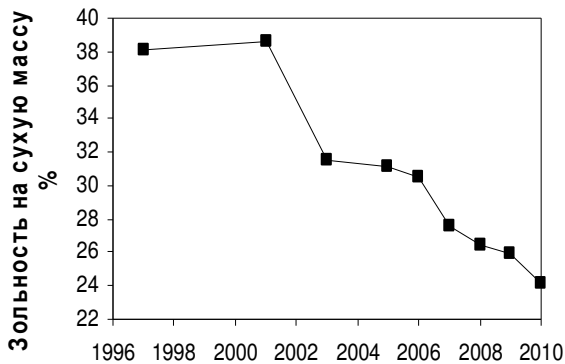


Рис. 7. Изменение качества угля на ТЭС Украины за 15 лет

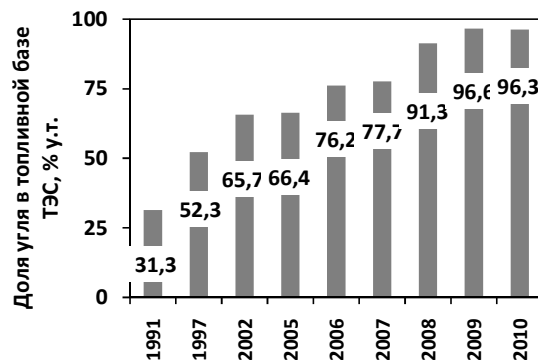


Рис. 8. Изменение доли угля в топливной базе ТЭС Украины за последние 20 лет

Таким образом, за счет обогащения энергетических углей со снижением их зольности и повышением калорийности удалось обеспечить первую состав-

Збагачення корисних копалин, 2012. – Вип. 49(90)

Загальні питання технології збагачення

ляющую эффективного сжигания на пылеугольных ТЭС – исключение подсветки дорогим импортруемым газомазутным топливом, которое сейчас используется почти исключительно для розжига котлоагрегатов.

Вторую составляющую эффективности сжигания угля – полноту его выгорания – количественно характеризуют мехнедожогом, или долей несгоревшего топлива в тепловом эквиваленте. При пылевидном сжигании газовых углей мехнедожог составляет менее 1-2%, антрацита – достигает 10% и более. Вклад в мехнедожог несгоревших остатков в шлаке обычно не превышает 1% отн., поэтому его определяют по содержанию несгоревшего углерода в золе уноса по формуле:

$$q_4 = d_{\text{тг}} \cdot (7800 \cdot A^{\text{r}} / Q_i^{\text{r}}) \cdot (a_{\text{ун}} \cdot \Gamma_{\text{ун}}) / (100 - \Gamma_{\text{ун}}), \% \quad (9)$$

где $d_{\text{тг}}$ – доля (по теплу) твердого топлива в общем сожженном топливе; 7800 – теплота сгорания недогоревшего углерода, ккал/кг; $A_{\text{ун}}$ – доля золы топлива, которая выносится из топки (при пылевидном сжигании с жидким шлакоудалением принимается 0,85); $\Gamma_{\text{ун}}$ – содержание углерода в золе уноса, %; A^{r} – зольность угля на рабочую массу, %; Q_i^{r} – низшая теплота сгорания угля, ккал/кг.

Физический смысл этого выражения становится понятен при домножении числителя и знаменателя на расход угля $V_{\text{уг}}$. В этом случае оно превращается в отношение произведения теплоты сгорания недогоревшего углерода на его расход в золе уноса $7800 \cdot V_{\text{уг}} \cdot A^{\text{r}} \cdot (a_{\text{ун}} \cdot \Gamma_{\text{ун}}) / (100 - \Gamma_{\text{ун}})$ к полному расходу вводимой в топку теплоты $V_{\text{уг}} \cdot Q_i^{\text{r}} / d_{\text{тг}}$.

Выражение (9) относит мехнедожог ко всему топливу, хотя при сжигании угля с подсветкой газ сгорает полностью. Для оценки полноты выгорания угля целесообразно определять мехнедожог угля [7]:

$$q_{4(\text{уг})} = (7800 \cdot A^{\text{r}} / Q_i^{\text{r}}) \cdot (a_{\text{ун}} \cdot \Gamma_{\text{ун}}) / (100 - \Gamma_{\text{ун}}) = q_4 / d_{\text{тг}}, \% \quad (10)$$

С учетом того, что $A^{\text{r}} = A^{\text{d}}(100 - W_t^{\text{r}}) / 100$, $Q_i^{\text{r}} \approx Q_i^{\text{af}}(100 - A^{\text{d}})(100 - W_t^{\text{r}})$, где A^{d} – зольность на сухую массу угля, W_t^{r} – общая влага угля, Q_i^{af} – низшая теплота сгорания угля в беззольном состоянии (при $W_t^{\text{r}} = 8\%$ для антрацита и газового угля $Q_i^{\text{af}} = 7200-7250$ ккал/кг), выражение (10) принимает вид:

$$q_{4(\text{уг})} = 85(7800/7225) \cdot (A^{\text{d}} / (100 - A^{\text{d}})) \cdot (\Gamma_{\text{ун}} / (100 - \Gamma_{\text{ун}})). \quad (11)$$

Решение этого выражения относительно $\Gamma_{\text{ун}}$ для различной зольности в зависимости от $q_{4(\text{уг})}$ дано на рис. 9. Можно видеть, что величина $\Gamma_{\text{ун}}$ растет с увеличением мехнедожога и со снижением зольности угля. Так, 18% углерода в уносе оказывается при зольности 30%, $q_{4(\text{уг})} = 9\%$, и при зольности 20%, $q_{4(\text{уг})} = 5\%$. Это объясняет данные [8] о сохранении уровня углерода в уносе антрацитовых ТЭС при повышении за последнее десятилетие качества угля и снижении мехнедожога (табл. 4).

Загальні питання технології збагачення

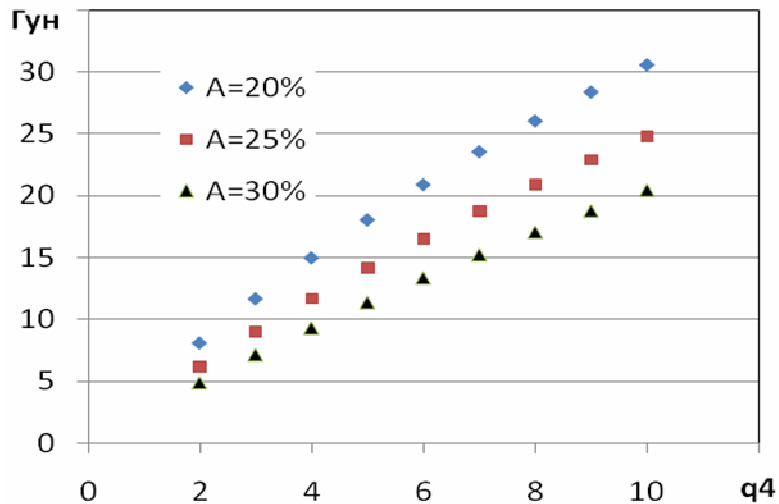


Рис. 9. Зависимость содержания углерода в уносе $\Gamma_{\text{ун}}$, %, от мехнедожога $q_{4(\text{yr})}$, %, при разной зольности антрацита

Таблица 4

ТЭС	Доля газа и мазута, %			Мехнедожог q_4 , %		
	1999	2005	2009	1999	2005	2009
Трипольская	51,3	28,8	7,3	7,0	9,4	6,9
Приднепровская	37,9	21,0	7,4	6,8	7,3	6,4
Змиевская	32,4	15,2	7,7	9,5	6,9	4,8
Старобешевская	13,4	14,4	5,9	13,5	11,9	6,5
Славянская	33,7	8,3	2,2	10,3	7,6	4,5
Луганская	23,5	2,7	1,7	35,1	4,9	4,4

ТЭС	Мехнедожог $q_{4(\text{yr})}$, %			Углерод в уносе $\Gamma_{\text{ун}}$, %		
	1999	2005	2009	1999	2005	2009
Трипольская	14,3	13,2	7,4	21,6	29,0	21,3
Приднепровская	11,0	9,2	6,9	17,4	20,4	21,7
Змиевская	14,1	8,1	5,2	21,3	17,6	19,2
Старобешевская	15,6	13,9	6,9	23,0	25,5	20,9
Славянская	15,6	8,3	4,6	23,0	18,0	15,7
Луганская	45,8	5,0	4,5	46,9	15,6	15,8

Зависимость мехнедожога угля $q_{4(\text{yr})}$ от зольности по данным отчетности ТЭС 1999-2009 гг. [5] показана на рис. 10. Видно, что за исключением Кураховской ТЭС, специально спроектированной для сжигания промпродукта Г с твердым шлакоудалением, зольность угля в течение этого периода снижалась, соответственно снижался и уровень мехнедожога. Пределом зольности для углей газовой группы, ниже которого средний мехнедожог не превышает 1%, следует признать рабочую зольность 25% ($A^d = 28\%$), что совпадает со средней границей 1-й категории качества по табл. 2. Для антрацита пределом, ниже которого средний мехнедожог не превышает 7,5%, является рабочая зольность 22% ($A^d = 24\%$), что совпадает с границей 1-й категории качества по табл. 2 для ГП "Ровенькиантрацит", которое обеспечивает более 36% от всех поставок антрацита на ТЭС Украины.

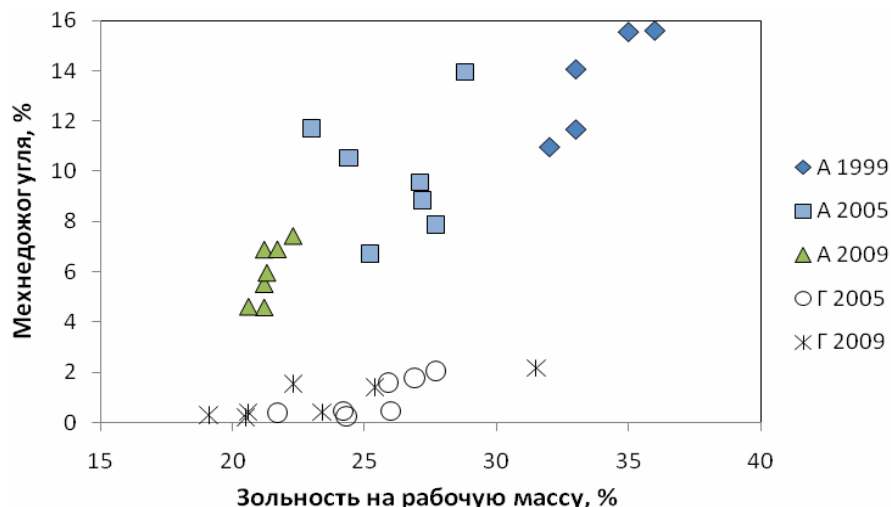


Рис. 10. Зависимость мехнедожога при пылевидном сжигании от зольности на рабочую массу угля в 1999-2009 гг

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы.

1. Эффективность обогащения энергетических углей следует оценивать по эффективности производства из них конечного продукта – электрической и тепловой энергии, которая имеет две важнейшие составляющие: наличие или отсутствие газомазутной подсветки при пылевидном сжигании и степень выгорания угля, которую определяют по величине мехнедожога. В отличие от ОФ, где основной технологической характеристикой угля является зольность, на ТЭС таковой является калорийность.

2. Приведенный в статье метод расчета калорийности по сертификатному значению Q_s^{daf} , влажности и зольности с учетом термического разложения минерального вещества угля дает результаты, близкие к лабораторному определению, а метод оценки Q_s^{daf} с поправкой на это разложение целесообразно использовать для контроля марочной принадлежности угля в партиях.

3. Повышению качества энергетических углей способствовало внедрение ДСТУ 4083-2002, разделившего их на категории качества по критерию необходимости подсветки на основании калорийности разных марок и установившего основы ценообразования по категориям, и прогрессивных ценовых шкал по зольности, стимулирующих угольные предприятия отпускать, а тепловые электростанции – покупать более дорогие высококалорийные концентраты. В результате средняя калорийность углей в поставках на ТЭС повысилась до 5400-5450 ккал/кг, доля использования газа снизилась до 2-4%, мехнедожог уменьшился до менее 1% для углей газовой группы и до менее 7,5% для антрацита.

4. Следующим шагом на пути повышения качества углей и эффективности их сжигания должно стать ценообразование по калорийности.

Загальні питання технології збагачення

Список литературы

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.
2. Майстренко А.Ю., Чернявский Н.В. Вопросы повышения эффективности использования твердого топлива на ТЭС // Энергетика и электрификация. – 2004. – №. – С.17-27.
3. Филиппенко Ю.Н., Рудавина Е.В., Скляр П.Т., Чернявский Н.В. Достоверность определения теплоты сгорания и выхода летучих веществ каменных углей в широком диапазоне зольности // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2009. – №2. – С.11-17.
4. Вклад минеральной массы в наблюдаемые значения выхода летучих веществ и элементного состава угля / Ю.Н. Филиппенко, Е.В. Рудавина, П.Т. Скляр, Н.В. Чернявский // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2010. – Вип. 40(81).– С. 26-31.
5. Довідник показників якості, обсягу видобутку вугілля та випуску продуктів збагачення у 2011 р. / П.Т. Скляр, О.А. Золотко, Ю.М. Філіппенко та ін. – Луганськ: ТК 92 "Вугілля та продукти його перероблення", УкрНДІвуглезбагачення, 20010. – 68 с.
6. Майстренко А.Ю., Чернявский Н.В., Стегний Н.Г. Техническое обоснование нормативных требований к качеству энергетических углей и ценовая шкала как средство их реализации // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2007. – №6. – С. 3–8.
7. Чернявский Н.В., Голенко И.Л., Провалов А.Ю. Оценка нижнего предела мехнедожога при пылевидном сжигании украинских энергетических углей // Современная наука: Сб. научн. статей. – 2011. – №3(8). – С. 68-73. Чернявский Н.В., Росколупа А.И., Батрак А.А. Совместное сжигание углеродсодержащего материала золоотвалов антрацитовых ТЭС и шламов в кипящем слое // Электрические станции. – 2011. – № 11. – С. 33-38.

© Чернявский Н.В., 2012

*Надійшла до редколегії 15.02.2012 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. П.І. Піловим*