

## **ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СЖИГАНИЯ УГЛЯ НА СЕБЕСТОИМОСТЬ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ, ВЫРАБАТЫВАЕМОЙ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ.**

Приведено методику розрахунку собівартості паливопідготовки кам'яного вугілля на енергетичних об'єктах. Проведено порівняльний аналіз собівартості 1 Гкал виробленого тепла з урахуванням витрат, що виникають при транспортуванні та збагачуванні палива з різними якісними характеристиками, а також технології спалювання. Показано техніко-економічні переваги технології спалювання низькосортного палива у топках з киплячим шаром перед технологією його спалювання у топках з шаровим спалюванням.

## **INFLUENCE OF TECHNOLOGY OF A FIRING OF COAL ON THE COST PRICE OF THERMAL ENERGY A WORKED ON ENERGY OBJECTS.**

The procedure of calculation of the cost price of preparation of combustible of hard coal on energy objects is given. The comparative analysis of the cost price 1 Gcal of yielded heat with allowance for of expenditures incipient at transporting and dressing of combustible with different qualitative behaviors, and also technology of incineration is held. Are rotined of technological advantage of technology of incineration of low-grade combustible in furnaces with a boiling bed before technology of its incineration in furnaces with layering incineration.

Угольные тепловые электростанции являются основой электроэнергетики Украины, составляя более 60% установленной мощности всех энергетических объектов. В то же время себестоимости вырабатываемых тепла и электроэнергии непрерывно возрастают, что, в первую очередь, обусловлено ростом цен на уголь, доля которого общих расходах на производство энергии достигает 70 – 80%. Последнее предопределяет интерес к использованию более дешевых высокозольных углей и отходов углеобогащения путем замены существующего энергетического оборудования, реализующего традиционные технологии, такие как факельное сжигание угля или сжигание в слое, на современное оборудование, реализующее прогрессивные технологии сжигания угля в кипящем слое. Внедрение этих прогрессивных технологий сдерживается как недостаточными инвестиционными возможностями, так и отсутствием детального технико-экономического анализа преимуществ технологии сжигания высокозольных углей в кипящем слое перед существующими технологиями (факельное или слоевое сжигание) применительно к условиям Украины. Выполненный анализ ценообразования и себестоимости топлива для ТЭЦ [1, 2] показывает необходимость оценки влияния технологии сжигания на все звенья технологической цепи – от добычи топлива до превращения его в тепловую и электрическую энергии. Выбор технологии сжигания угля для энергетических объектов помимо технологических аспектов имеет существенное экономическое значение, так как определяет весьма энергоёмкий процесс – топливоподготовку. Также, в зависимости от технологии сжигания значительно колеблется допустимый предел зольности угля, что отражается на его цене. В [2] получена функция для нахождения стоимости каменных углей с учётом транспортных расходов, приведенная к различным величинам (1 т угля, 1 Гкал тепла, 1 часу работы парогенера-

тора), в которую было бы целесообразно включить расходы по топливоподготовке.

Рассмотрим затраты, добавляющиеся к стоимости угля непосредственно на ТЭЦ перед сжиганием топлива в топке с кипящим слоем и при слоевом сжигании, которые для удобства назовём топливоподготовкой, для сравнения экономических показателей указанных технологий сжигания.

Стоимость топливоподготовки, приведенная к 1 т готового к сжиганию топлива, составляет

$$C_{\text{тп}} = C_{\text{м}} + 3П_{\text{уд}} + R_{\text{н}} + A_{\text{м}}, \text{ грн/т} \quad (1)$$

где  $C_{\text{м}}$  – стоимость материалов и электроэнергии, расходуемых на топливоподготовку 1 т угля, грн/т;  $3П_{\text{уд}}$  – удельная заработная плата, грн/т;  $R_{\text{н}}$  – накладные расходы, грн/т;  $A_{\text{м}}$  – амортизационные отчисления рассчитываемые по формуле

$$A_{\text{м}} = \frac{C_{\text{д}}}{N_{\text{л}} \cdot N_{\text{ч}} \cdot П_{\text{о}}}, \text{ грн/т}$$

где  $C_{\text{д}}$  – стоимость оборудования, грн;  $N_{\text{л}}$  – число лет службы оборудования, год;  $N_{\text{ч}}$  – число часов работы оборудования, ч/год;  $П_{\text{о}}$  – производительность оборудования, включённого в схему топливоподготовки, т/ч.

Приведём стоимость топливоподготовки угля к 1 Гкал содержащегося в нём тепла. Для этого найдём низшую рабочую теплоту сгорания топлива

$$Q_{\text{н}}^{\text{р}} = 10^{-5} \cdot (Q_{\text{н}}^{\text{г}} \cdot [100 - (A_2 + W)] - 600 \cdot W), \text{ Гкал/т}$$

где  $Q_{\text{н}}^{\text{г}}$  – низшая теплота сгорания горючей массы, ккал/кг;  $A_2$  – значение зольности угля после обогащения, %;  $W$  – рабочая влажность угля, %.

Тогда искомая стоимость топливоподготовки определится как

$$C_{\text{тп1}} = \frac{C_{\text{тп}}}{Q_{\text{н}}^{\text{р}}}, \text{ грн/Гкал} \quad (2)$$

Для нахождения стоимости топливоподготовки, приведенной к 1 часу работы парогенератора, найдём:

расход топлива за час работы парогенератора

$$B = \frac{Q_{\text{пг}}}{Q_{\text{н}}^{\text{р}} \cdot \eta_{\text{пг}}}, \text{ т/ч} \quad (3)$$

где  $Q_{\text{пг}}$  – мощность парогенератора, (Гкал/ч);  $\eta_{\text{пг}}$  – КПД парогенератора.

Тогда стоимость топливоподготовки

$$C_{\text{тп2}} = C_{\text{тп}} \cdot B, \text{ грн/ч} \quad (4)$$

Прибавляя к полученным в [2] зависимостям, определяющим стоимость угля с учетом обогащения и транспортировки, издержки на топливоподготовку по зависимостям (1), (2) и (4) получим:

стоимость 1 т энергетического угля с учётом транспортных расходов и расходов на подготовку угля к сжиганию

$$C = \frac{C_{\text{пэ}} \cdot [1 + 0,025 \cdot (A_{\text{п}} - A_{\text{н}}) + 0,013 \cdot (W_{\text{п}} - W_{\text{н}})] + 0,32 \cdot (A_{\text{н}} - A_1) \cdot \Pi}{1 - 0,02 \cdot (A_{\text{н}} - A_1)} + , \text{ грн/т}$$
$$+ K_2 + 1,2 \cdot K \cdot K_1 \cdot (0,656 + 0,002709 \cdot L) + C_{\text{тп}}$$

где  $C_{\text{пэ}}$  – преysкурантная цена энергетического угля, грн/т [3];  $A_{\text{п}}, A_{\text{н}}$  – соответственно преysкурантное и начальное (после добычи) значения зольности энергетического угля, %;  $A_1$  – значение зольности угля после обогащения, %;  $W_{\text{п}}, W_{\text{н}}$  – соответственно преysкурантное и начальное (после добычи) значения влажности энергетического угля, %; 0,025 – коэффициент скидок (приплат), учитывающий изменение зольности энергетического угля из расчёта 2,5 % преysкурантной цены за 1 % изменения содержания золы; 0,013 – коэффициент скидок (приплат), учитывающий изменение влажности энергетического угля из расчёта 1,3 % преysкурантной цены за 1 % изменения содержания влаги;  $\Pi$  – коэффициент, учитывающий нормативную рентабельность обогатительной фабрики;  $K_2$  – стоимость погрузочно-разгрузочных работ для 1 т угля, грн;  $K$  – коэффициент индексации тарифов [4];  $K_1$  – коэффициент, применяемый к действующим тарифам и выбираемый с учётом класса груза [5];  $L$  – среднепоясное расстояние перевозки, км;

стоимость 1 Гкал тепла, содержащегося в угле

$$C_1 = \frac{C}{Q_{\text{н}}^{\text{п}}}, \text{ грн/Гкал};$$

стоимость часового расхода топлива для работы парогенератора

$$C_2 = C \cdot B, \text{ грн/ч.}$$

Сравним расходы по получению тепловой энергии на ТЭЦ, оборудованной котлом с топкой кипящего слоя и котлом с топкой слоевого сжигания. В обоих случаях рассматривается котёл Е – 220 с удельной производительностью парогенератора  $Q_{\text{пг}}$  – 146,667 Гкал/ч.

Котёл Е – 220 с топкой кипящего слоя (вариант 1) имеет следующие характеристики: мощность парогенератора  $Q_{\text{пр}} - 146,667$  Гкал/ч; КПД парогенератора  $\eta_{\text{пр}} - 0,92$ ; низшая теплота сгорания горючей массы  $Q_{\text{н}}^{\text{r}} - 7800$  ккал/кг; зольность сжигаемого топлива  $A_1 - 42$  %; фактическое значение влажности угольной продукции  $W - 8,35$  %, расход топлива за час работы составляет 41,705 т/ч (при данной зольности сжигаемого угля); цена котла с учётом проектных, пусконаладочных, строительно-монтажных работ и НДС  $C_{\text{к}} = 22\,323\,600$  грн. Для условий сжигания в кипящем слое уголь может иметь крупность 0 – 13 мм, в соответствии с чем схема топливоподготовки включает в себя грохот для разделения угля по классам крупности 0–13 и +13 мм (типоразмер и технические характеристики оборудования приведены в таблице 1). После разделения подрешетный продукт направляется в топку, а надрешетный – в дробилку СМД-504, после чего дроблёный уголь крупностью 0–13 мм также поступает в топку. При этом в схеме топливоподготовки используются две дробилки указанной модели для обеспечения котла топливом с учётом 10%-ного резервирования. В связи с техническими характеристиками используемой дробилки крупность исходного угля, поступающего на ТЭЦ, не превышает 250 мм. Примем производительность оборудования равной 41,705 т/ч, что соответствует расходу топлива с данными характеристиками для обеспечения производительности парогенератора.

Таблица 1. – Технические характеристики оборудования топливоподготовки для сжигания угля при различных технологиях.

Характеристика	Типоразмер оборудования		
	Грохот ГИЛ 42К-0	Дробилка СМД-504	Мельница Ш-16 ШБМ
Производительность, на АШ, $V_{\text{м}}$ , т/ч	75 (по питанию)	24	16
Мощность электродвигателя, $N_{\text{эд}}$ , кВт	7,5	55	500
Масса, т	3,28	2,5	71,433
Крупность загружаемого материала, мм	Максимальная 400	Максимальная 250	10 – 15
Крупность выгружаемого продукта, мм	13 – 50	0 – 13	пыль
Удельный расход электроэнергии, $\mathcal{E}_{\text{м}}$ , кВт·ч/т	0,1	2,29	31,25
Число часов работы оборудования в год, ч	7 500	7 500	7 500
Срок службы оборудования, лет	30	30	30
Производитель	ОАО "Рудгормаш"	ОАО "Строммашина"	НКМЗ

Котёл с топкой слоевого сжигания угля Е – 220 (вариант 2) имеет следующие характеристики: расход топлива за час работы составляет 33,502 т/ч при той же паропроизводительности, что и у котла с топкой кипящего слоя (золь-

ность угля  $A_1 = 30\%$ , значения остальных параметров те же, что и в варианте 1); цена котла с топкой слоевого сжигания  $Ц_k = 18\,809\,700$  грн, с учётом проектных, пусконаладочных, строительно-монтажных работ и НДС. Так как при слоевом сжигании в топку парогенератора вдувается угольная пыль, в приведённую систему топливоподготовки необходимо включить мельницу. После разделения на грохоте подрешетный продукт направляется в мельницы Ш-16 (типоразмер и технические характеристики мельниц приведены в таблице 1), а надрешетный – в дробилку СМД-504, после чего дроблёный уголь крупностью 0–13 мм также поступает в мельницы. Угольная пыль сжигается в топке со слоевым сжиганием (схема пылеприготовления с прямым вдуванием). При этом в связи с техническими характеристиками используемой дробилки крупность исходного угля, поступающего на ТЭЦ, не превышает 250 мм. Использование в системе топливоподготовки двух дробилок указанной модели, общей производительностью 48 т/ч и трёх мельниц Ш-16, общей производительностью 48 т/ч, обусловлено необходимостью иметь резервные мощности на случай выхода части оборудования из строя.

Капитальные затраты по рассматриваемым вариантам с учётом НДС сведены в таблицу 2.

Таблица 2. – Определение капитальных затрат на топливоподготовку при различных технологиях сжигания угля.

Оборудование	Технологии сжигания	Вариант 1, грн	Вариант 2, грн
Грохот ГИЛ-42К-0		39 270	39 270
Дробилка молотковая однороторная М-8-6Б(2 шт.)		349 068	349 068
Шаровая мельница Ш-16 (3 шт.), грн		–	3 921 450
Котёл Е – 220		22 323 600	18 809 700
Итого капитальных затрат		22 711 938	23 119 488

Из таблицы следует, что, несмотря на более высокую стоимость котла с топкой кипящего слоя, вариант 1 уже на этапе капитальных вложений более выгоден, чем вариант 2, так как в нем отсутствует углеразмольное оборудование.

Калькуляции стоимости топливоподготовки для ТЭЦ, оборудованных котлами с различными технологиями сжигания угля, приведены в таблице 3. При этом исходные данные следующие: все затраты приведены к тонне готового к сжиганию угля; в стоимость сырья включена потребляемая электроэнергия. Тариф на электроэнергию  $T_э = 0,13$  грн/кВт·ч; зарплата рабочим (в количестве пяти человек), занятым на топливоподготовке, с начислениями составляет 700 грн в месяц на 1 человека; накладные расходы 100%.

Анализ данных таблицы 3 показывает существенное, более чем в два раза, снижение затрат на топливоподготовку при технологии сжигания угля в кипящем слое по сравнению с технологией слоевого сжигания.

Найдём стоимость энергетического угля с учётом всех затрат, возникающих на различных этапах – от добычи до сжигания, для котлов Е – 220 с рассматриваемыми технологиями сжигания. Исходные данные следующие: преysкурант-

ная цена на угольную продукцию для энергетики  $C_{пэ} - 107,63$  грн/т; преysкурантное значение зольности угольной продукции  $A_{п} - 27,95$  %; начальное значение зольности угольной продукции до обогащения  $A_{н} - 50$  %; преysкурантное значение влажности угольной продукции  $W_{п} - 9,56$  %; фактическое значение влажности угольной продукции  $W - 8,35$ ; зольность угольной продукции после обогащения  $A_1 - 30$  % для слоевого сжигания, для сжигания в топке с кипящим слоем рассматриваются три варианта с различной зольностью – 35 %, 42 % и 50 %; коэффициент, учитывающий нормативную рентабельность обогатительной фабрики  $П - 1,2$ ; коэффициент индексации тарифов  $K - 6,071$ ; коэффициент, применяемый к действующим тарифам, выбираем с учётом того, что уголь является грузом 2 класса  $K_1 - 1,38$ ; среднепоясное расстояние перевозки  $L - 800$  км; стоимость погрузочно-разгрузочных работ для угля  $K_2 - 5$  грн/т; низшая теплота сгорания горючей массы  $Q_{н}^r - 7800$  ккал/кг; мощность парогенератора  $Q_{пг} - 146,667$  Гкал/ч; КПД парогенератора  $\eta_{пг} - 0,92$ . Удельные стоимости угля  $C$ ,  $C_1$  и  $C_2$  определялись по приведенным выше зависимостям. Стоимость годового расхода угля определялась как произведение стоимости одной тонны на годовой расход угля. Результаты расчёта стоимости годового расхода угля для различных технологий сжигания угля приведены в таблице 4.

Таблица 3. – Калькуляция стоимости топливоподготовки для котлов с различными технологиями сжигания (с учётом стоимости котлов).

Показатели	Технологии сжигания	Вариант 1	Вариант 2
Зольность угля, %		42	30
Сырьё и материалы, грн/т		0,31	4,37
Зарплата с начислениями, грн/т		0,13	0,17
Накладные расходы, грн/т		0,13	0,17
Амортизационные отчисления, грн/т		2,42	3,07
Итого себестоимость топливоподготовки $C_{тп}$ , грн/т		3,0	7,78
Удельная стоимость топливоподготовки $C_{тп1}$ , грн/Гкал		0,79	1,63
Удельная стоимость топливоподготовки $C_{тп2}$ , грн/ч		125,11	260,46
Годовая стоимость топливоподготовки, грн/год		938304,75	1953430,25

Анализ данных таблицы 4 показывает, что при всех значениях зольности угля стоимость его годового расхода при технологии сжигания в кипящем слое ниже стоимости годового расхода угля при технологии слоевого сжигания. Минимальное значение стоимости годового расхода угля при сжигании в кипящем слое соответствует оптимальному значению зольности, определенному в [2] без учета топливоподготовки по минимумам  $C_1$  и  $C_2$ . Использование котла,

реализующего технологию сжигания угля в кипящем слое, позволяет сэкономить 3,4 млн. грн в год (при данном сочетании исходных данных) по сравнению с котлом, реализующим технологию слоевого сжигания угля, только за счёт экономии на транспортной составляющей и меньших расходов на топливоподготовку. Кроме того, вариант 1 требует на 0,4 млн. грн. капитальных вложений меньше, чем вариант 2. Это имеет большое значение в связи с тем, что применение для котлов топок кипящего слоя позволяет не только сжигать высокозольное топливо и отходы углеобогащения, получая при этом золу и шлак, почти не содержащие горючих, но и уменьшить выбросы серы и оксидов азота в атмосферу [6]. Таким образом, на основании выполненного технико-экономического анализа можно сделать вывод о существенных преимуществах сжигания высокозольного топлива в котлах с топками кипящего слоя перед топками со слоевым сжиганием угля. Эти преимущества позволяют обеспечить большую экономическую эффективность и уменьшить загрязненность окружающей среды в угледобывающих регионах Украины.

Таблица 4. – Стоимость годового расхода угля с учётом топливоподготовки при различных технологиях сжигания.

Показатели	Технологии сжигания			Вариант 2
	Вариант 1			
	Зольность угля			
	35 %	42 %	50 %	
Стоимость одной тонны угля $C$ , грн/т	116,29	99,5	85,85	137,1
Стоимость потенциального тепла угля $C_1$ , грн/Гкал	26,62	26,02	26,84	28,71
Стоимость часового расхода угля $C_2$ , грн/ч	4 244	4 148	4 279	4 594
Годовой расход угля, тыс. т	273,7	312,7	373,8	251,2
Стоимость годового расхода угля для ТЭЦ, млн. грн	31,8	31,1	32,1	34,5

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чемерис И.Ф., Кванчиани Т.Т. Обоснование оптимальных показателей качества местного топлива для энергетических объектов. // Геотехническая механика. Межведомств. сб. научн. трудов, вып. 41. 2003.– с. 103 – 110.
2. Чемерис И.Ф., Кванчиани Т.Т. Обоснование оптимальных показателей качества каменного угля для энергетических объектов. // Геотехническая механика. Межведомств. сб. научн. трудов, вып. 35. 2002.– с. 142 – 149.
3. Полулях О.Д. Технологические регламенты углеобогащительных фабрик: Справочно-информационное пособие.– Днепропетровск: Национальный горный университет, 2002.– 856 с.
4. Збірник тарифів на перевезення вантажів залізничним транспортом України (Тарифне керівництво №1) та коефіцієнтів, що застосовуються до тарифів цього збірника. Затверджений Наказом Міністерства транспорту України від 15 листопада 1999р. № 551.
5. Коефіцієнти, що застосовуються до тарифів Збірника тарифів на перевезення вантажів залізничним транспортом України. Затверджені Наказом Міністерства транспорту України № 68 від 05 лютого 2001р.
6. Баскаков А.П., Мацнев В.В., Распопов И.В. Котлы и топки с кипящим слоем.– М.: Энергоатомиздат, 1996.– 352 с.