

ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА МЕСТНОГО ТОПЛИВА ДЛЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Приведено методичку розрахунку оптимальних показників якості місцевого палива (торфу) для енергетичних об'єктів. Показано наявність мінімуму питомої вартості потенційного тепла від вологості. Отримано вираз для мінімальної вартості годинної витрати палива при заданій паропроодуктивності енергетичного об'єкта. Приведені залежності оптимального значення вологості торфу від дальності транспортування при різних значеннях питомої витрати палива на сушіння.

SUBSTANTIATION OF OPTIMUM PARAMETERS QUALITY OF LOCAL FUEL FOR POWER OBJECTS

The design procedure of optimum parameters quality of local fuel (peat) for power objects is resulted. Existence of a minimum specific cost of potential heat from humidity is shown. Expression for the minimal cost of the hour charge of fuel is received at the set productivity of power object. Dependences of optimum value humidity of peat on range of transportation various values of the specific charge of fuel on drying are resulted.

В последнее время всё больше внимания уделяется проблеме качественных и стоимостных показателей топлива для энергетических объектов [1-3]. С одной стороны, необходимость транспортировать топливо с высокой зольностью и влажностью до места назначения может существенно повысить его себестоимость из-за вынужденной транспортировки балласта, причём, чем больше дальность транспортировки, тем существеннее влияние этого фактора. С другой стороны, стоимость обогащения может свести на нет экономический эффект от уменьшения доли транспортных затрат в структуре себестоимости. В этой связи возникает необходимость найти оптимальное сочетание таких параметров как степень, до которой следует обогащать топливо и дальность транспортировки для каждого конкретного случая в отдельности, что предполагает минимизацию удельной цены. Причём цена может быть приведена как к стоимости единицы массы топлива (грн/т), так и к стоимости единицы его теплотворной способности (грн/Гкал). При этом для торфа, взятого в качестве примера местного топлива [4], рассматривается обогащение по влажности, зольность принимается постоянной.

Действующими нормативными документами предусматривается изменение цены на 2,5 % при изменении зольности на 1 % и на 1 % при изменении влажности на 1 %. С учётом вышеизложенного текущее значение стоимости добытого топлива запишется в виде

$$C_1 = C_0 \cdot [1 + k_A \cdot (A_n - A_1) + k_W \cdot (W_n - W_1)],$$

где C_0 – базовая цена топлива, грн/т; A_n, A_1 – его преysкурантная и фактическая зольность, %; k_A – коэффициент, учитывающий изменение цены от зольности; W_n, W_1 – преysкурантная и начальная (после добычи) влажность топлива, %; k_W – коэффициент, учитывающий изменение цены от влажности.

Чтобы проследить зависимость степени обогащения топлива от стоимости транспортировки до места использования, смоделируем процесс ценообразования при прохождении топливом всех технологических этапов: добычи, сушки, транспортировки, получения тепловой энергии.

Определим изменение цены 1 т торфа после сушки. К цене 1 т влажного торфа добавляется цена массы топлива, необходимого для производства тепла в процессе сушки. Его масса (τ)

$$m_{\text{топ}} = \frac{0,01 \cdot m_{\text{уд}} \cdot (W_1 - W_2)}{\eta_c \cdot Q_{\text{н1}}^{\text{p}}}, \quad (1)$$

где $m_{\text{уд}}$ – удельная масса топлива, расходуемого на испарение 1 т влаги, Гкал/т_в [5]; η_c – КПД сушильного устройства, $Q_{\text{н1}}^{\text{p}}$ (Гкал/т) – низшая рабочая теплота сгорания топлива с влажностью W_1 (%), W_2 – влажность топлива после сушки, (%).

$$Q_{\text{н1}}^{\text{p}} = 10^{-5} \cdot Q_{\text{н}}^{\text{r}} \cdot [100 - (A_1 + W_1)] - 6 \cdot 10^{-3} \cdot W_1,$$

где $Q_{\text{н}}^{\text{r}}$ – низшая теплота сгорания горючей массы, ккал/кг [5].

Следует также учитывать потерю массы топлива в количестве массы испарённой влаги $m_{\text{исп}} = 0,01 \cdot (W_1 - W_2)$.

Учитывая вышеизложенное, цена 1 т подсушенного топлива запишется в виде

$$C_c = \frac{C_1 \cdot (1 + m_{\text{топ}} / K_{\text{тс}})}{1 - m_{\text{исп}}},$$

где $K_{\text{тс}}$ – коэффициент, учитывающий долю топливной составляющей в общих издержках на сушку.

Далее топливо подвергается транспортировке до места переработки его в тепловую энергию, при этом к стоимости добавляются транспортные издержки и цена приобретает такую структуру

$$C_2 = C_c + T \cdot L,$$

где T – действующий тариф на перевозку, грн/т·км; L – дальность транспортировки, км.

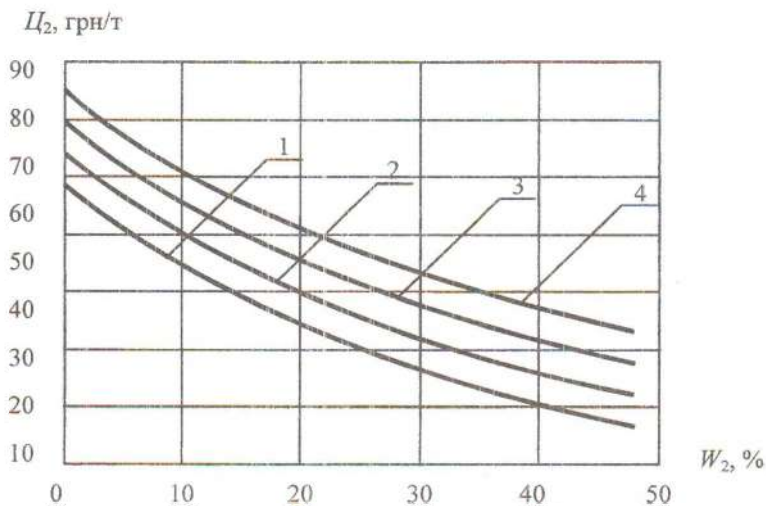
Цена подсушенного топлива, приведённая к единице потенциального тепла (грн/Гкал), запишется в виде

$$C_3 = \frac{C_2}{Q_{н2}^p}, \quad (2)$$

где $Q_{н2}^p$ – низшая теплота сгорания топлива с влажностью W_2 .

Влияние дальности транспортировки на стоимость подсушенного топлива отобрано графически на рис. 1 и рис. 2. Расчёты выполнены в среде Mathcad 7.0. Для расчёта использованы следующие значения параметров: базовая цена топлива $C_6 = 25$ грн/т; коэффициент, учитывающий изменение цены от зольности $k_A = 0,025$; коэффициент, учитывающий изменение цены от влажности $k_W = 0,01$; нормативное значение влажности торфа $W_n = 50$ %; влажность торфа после полевой сушки $W_1 = 48,5$ %; нормативное значение зольности торфа $A_n = 15$ %; фактическое значение зольности торфа $A_1 = 13,3$ %; удельная масса топлива, расходуемая на испарение 1т влаги $m_{yз} = 0,764$ Гкал/т_в; низшая теплота сгорания горючей массы $Q_{н}^r = 5240$ ккал/кг; КПД сушильного устройства $\eta_c = 0,92$; коэффициент, учитывающий долю переменных издержек в общих издержках на сушку $K_{тс} = 0,7$; действующий тариф на перевозку автотранспортом $T = 0,184$ грн/т·км.

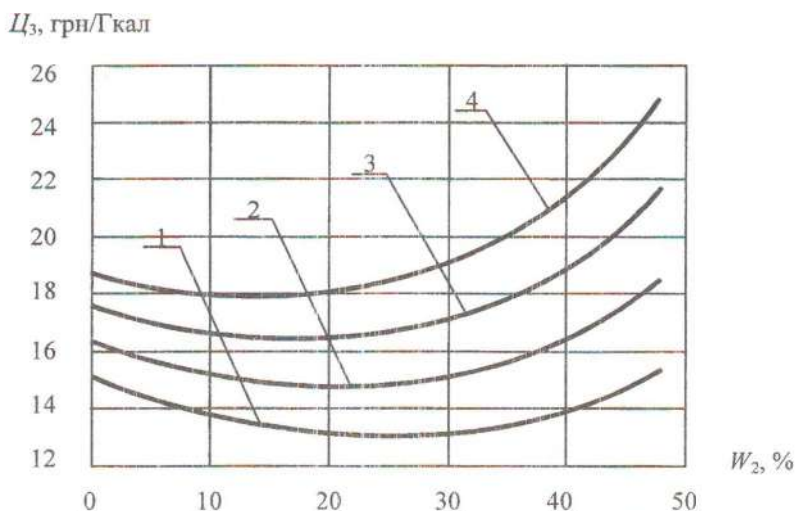
На рис. 1 видно, что, при прочих равных условиях, цена за тонну торфа рас-



1, 2, 3, 4 – при $L = 0, 30, 60, 90$ км соответственно
 Рис. 1 – Зависимость удельной стоимости 1 т топлива от его влажности при различных дальностях перевозки

тёт пропорционально уменьшению влажности W_2 . Как следует из рис. 2, цена, приведённая к Гкал теплотворной способности торфа, имеет минимум. Очевидно, что этот минимум и есть оптимальное для производителя тепла и

электроэнергии значение влажности торфа. При этом на рис. 2 можно проследить смещение минимума цены в сторону уменьшения рабочей влажности с ростом дальности транспортировки. Это подтверждает предварительные суждения о том, что чем больше расстояние, тем выгоднее иметь меньшее содержание балласта в перевозимом топливе. Верным также оказывается предположение о существовании оптимальной влажности, при которой цена топлива минимальна.



1, 2, 3, 4 – при $L = 0, 30, 60, 90$ км соответственно

Рис. 2 – Зависимость удельной стоимости 1 Гкал тепла от влажности торфа при различных дальностях перевозки

Рассмотрим стоимость топлива, приведённую к единице времени работы парогенератора. Эта величина находится путём умножения (2) на мощность парогенератора с учётом КПД

$$C_4 = C_3 \cdot \frac{Q_{\text{пг}}}{\eta_{\text{пг}}}, \text{ грн/ч} \quad (3)$$

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

Очевидно, что C_4 аналогична C_3 и отличается от неё только коэффициентом пропорциональности. Для нахождения минимума исследуем цену топливной составляющей в единицу времени, так как в ней учтены затраты на производство тепла на всех этапах, включая процесс превращения топлива в тепловую энергию.

Подставив в (3) все константы, цену часового расхода топлива (грн/час) можно записать в виде

$$\Pi_4 = \left(\frac{R \cdot (E - F \cdot W_2)}{G + 0,01 \cdot W_2} + D \right) \cdot \frac{Q_{\text{пр}}}{H - I \cdot W_2}, \quad (4)$$

где $Q_{\text{пр}}$ – мощность парогенератора;

$$R = \Pi_6 \cdot [1 + K_W \cdot (W_{\text{п}} - W_1) + K_A \cdot (A_{\text{п}} - A_1)];$$

$$C = K_{\text{тс}} \cdot z_c \cdot [10^{-5} \cdot Q_{\text{н}}^r \cdot (100 - A_1 - W_1) - 6 \cdot 10^{-3} \cdot W_1];$$

$$D = T \cdot L;$$

$$E = 1 + \frac{0,01 \cdot W_1 \cdot m_{\text{уд}}}{C};$$

$$F = \frac{0,01 \cdot m_{\text{уд}}}{C};$$

$$G = 1 - 0,01 \cdot W_1;$$

$$H = 10^{-3} \cdot \eta_{\text{пр}} \cdot Q_{\text{н}}^r \cdot (1 - 10^{-2} \cdot A_1);$$

$$I = 10^{-3} \cdot \eta_{\text{пр}} \cdot (10^{-2} \cdot Q_{\text{н}}^r + 6).$$

Для нахождения минимума цены продифференцируем Π_4 по W_2 и приравняем полученный результат к нулю. Из двух полученных выражений выберем то, которое соответствует физическому смыслу параметров (W_2 является положительной величиной). В результате получим выражение для нахождения оптимального значения влажности, минимизирующего цену,

$$W_{2\text{опт}} = 10 \cdot \frac{[\sqrt{Z \cdot (100 \cdot I \cdot D \cdot G + 100 \cdot I \cdot R \cdot E - 100 \cdot H \cdot R \cdot F + D \cdot H)} - 10 \cdot I \cdot (R \cdot E + D \cdot G)]}{I \cdot (-100 \cdot R \cdot F + D)}, \quad (5)$$

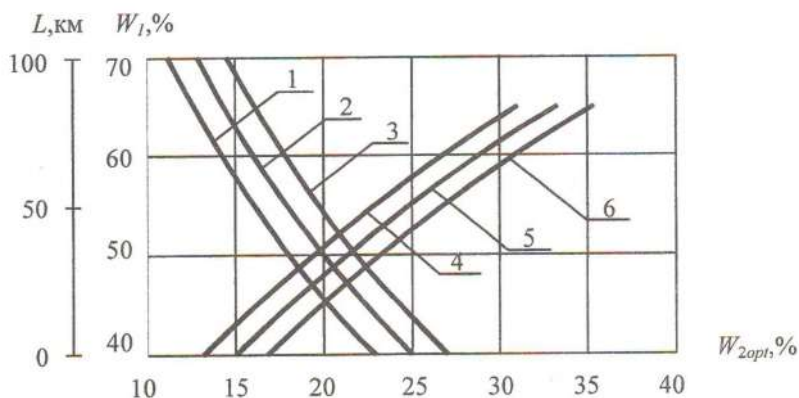
где

$$Z = I \cdot R \cdot (100 \cdot F \cdot G + E).$$

Подставив (5) в (4), получим выражение для нахождения минимальной стоимости часового расхода топлива при заданной паропроизводительности $Q_{\text{пр}}$

$$\Pi_{4min} = \left(\frac{R \cdot (E - F \cdot W_{2opt})}{G + 0.01 \cdot W_{2opt}} + D \right) \cdot \frac{Q_{пр}}{H - I \cdot W_{2opt}}$$

На рис. 3 графически представлено влияние на оптимальную влажность W_{2opt} наиболее существенных факторов. Так при увеличении дальности транспортировки, а, следовательно, и транспортных издержек, значение W_{2opt} снижается. Зависимость W_{2opt} от начальной влажности торфа W_1 имеет иной характер. С ростом W_1 наблюдается рост W_{2opt} (при этом транспортные расходы постоянны). Для обоих семейств кривых справедливо, что увеличение $m_{уд}$ вызывает соответствующее смещение кривых в сторону повышения W_{2opt} . Другими словами, чем больше удельный расход топлива на испарение влаги, тем меньше экономический эффект от сушки и, соответственно, больше параметр W_{2opt} . Таким образом, зная значения параметров, влияющих на удельную цену топлива (торфа), можно вычислить степень, до которой следует его сушить, чтобы минимизировать издержки.



1, 2, 3 — $W_{2opt}(L)$ при $W_1 = const = 48,5\%$ и $m_{уд} = 0,6; 0,75; 0,9$ Гкал/т_в соответственно;
4, 5, 6 — $W_{2opt}(W_1)$ при $L = const = 30$ км и $m_{уд} = 0,6; 0,75; 0,9$ Гкал/т_в соответственно.

Рис. 3 — Зависимость оптимального значения влажности от дальности транспортировки и начальной влажности при различных значениях $m_{уд}$

Как показывают проведённые исследования, удельная стоимость 1 т топлива (торфа), поставляемого на ТЭЦ, монотонно возрастает с уменьшением его влажности, что обусловлено ростом затрат на сушку топлива. Напротив, цена за 1 Гкал потенциального тепла, а также стоимость часового расхода топлива имеют явно выраженный минимум, обусловленный наличием рационального соотношения между технологическими процессами добычи, сушки и транспортировки твёрдого топлива (торфа). Сопоставляя рассматриваемые системы расчётов за топливо, приходим к выводу о том, что определение цены топлива с учётом скрытого в нём тепла является более правильным, так как отражает потребительские свойства топлива как товара, основным из которых

является теплотворная способность. Приведенная методика может быть использована как основа для определения рациональных условий поставки на тепловые электростанции других твердых топлив (бурые и каменные угли), имеющих ту же технологическую цепочку, что, в конечном счете, позволит снизить себестоимость вырабатываемых тепло- и электроэнергии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богатов Б.А. Энергосбережение и интенсификация технологических процессов переработки торфа. Известия Вузов и энергетических объединений СНГ. Энергетика. 1995. № 5 – 6. С. 91 – 95.
2. Рубан В.А., Крапчин И.П., Кирсанова О.П. Экономическая целесообразность облагораживания углей. Химия твердого топлива. 1997. № 2. С. 86 – 91.
3. Пиллов П.И., Шаров А.И., Пилова Е.П. Технологическое обоснование качества угля для энергетики. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2001. № 3. С. 161 – 165.
4. Булат А. Ф., Чемерис И.Ф., Перепелица В.Г., Подтуркин Д.Г. Техничко-экономические аспекты перевода энергетических объектов украинского Полесья на местное топливо / Геотехническая механика. Межведомств. сб. науч. трудов, вып. 29. 2001, С. 28 – 34.
5. Справочник по торфу / Под ред. канд. техн. наук Лазарева А.В. и докт. техн. наук Корчунова С.С. – М.: Недра, 1982. – 760 с.
6. Равич М.Б. Топливо и эффективность его использования. – М.: Наука, 1971. – 358 с.

УДК 662.612.322

И.Ф. Чемерис, И.Л. Слободяникова

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПУЛЬСИРУЮЩЕГО КИПЯЩЕГО СЛОЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВЫГОРАНИЯ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА

Наведено методику розрахунку функції вигорання твердого палива з одиниці площі при пульсуючій подачі повітря. Дано аналіз впливу параметрів киплячого шару і швидкості повітря на функцію вигорання. Отримано емпіричну залежність функції вигорання від параметрів пульсуючого киплячого шару.

RESEARCH INFLUENCE PARAMETERS OF A PULSING BOILING BED FOR EFFICIENCY A BURNING OFF OF SOLID COMBUSTIBLE

The procedure calculation of function a burning off of solid combustibile from a unit area is reduced at pulsing air delivery. The analysis influence parameters of a boiling bed and velocity of air on function a burning off is given. The empirical-formula dependence of function a burning off from parameters of a pulsing boiling bed is obtained.

Из существующих методов сжигания твердого топлива наиболее прогрессивным направлением является сочетание кипящего слоя с применением пульсирующей подачи воздуха. Исследованиями различных авторов установлен факт увеличения горения топлив в пульсирующем потоке [1-3]. Имеется достаточно большое количество математических моделей по тем или иным вопросам горения и газификации твердого топлива в кипящем слое [4-6]. Однако в них недостаточно рассмотрены вопросы влияния на скорость выгорания кипящего слоя и состав газообразных продуктов таких параметров, как качество топлива, размеры угольных частиц и инерта, скорость оживающего агента (газа), концентрация горючих в слое и параметры пульсирующего потока воздуха, что требует дополнительного исследования.