

3. Токарева Э.Т., Лысенко И.Ф., Яновская Г.В., Титова Т.В. Красноармейский угленосный район // Газоносность угольных бассейнов и месторождений СССР. Т. 1, М.: Недра, 1979. — С. 72 - 83.

4. Забигаило В.Е., Широков А.З. и др. Геологические факторы выбросоопасности пород Донбасса. — К.: Наук. Думка, 1974. — 270 с.

5. Забигаило В.Е., Широков А.З. Проблема геологии газов угольных месторождений. — К.: Наук. Думка, 1972. — 172 с.

УДК 622.333.004.12:620.92

И.Ф. Чемерис, Т.Т. Яценко  
(ИГТМ НАН Украины)

## ВЛИЯНИЕ БАЛЛАСТА ТОПЛИВА НА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Досліджено вплив коефіцієнту баласту палива, який складається з зольності та вологості, на ККД котельного агрегату. Приведено методику розрахунку оптимальних показників якості кам'яного вугілля для енергетичних об'єктів. Показано наявність мінімуму питомої вартості потенційного тепла від коефіцієнту баласту. Отримано вираз для мінімальної вартості годинної витрати палива при заданій продуктивності енергетичного об'єкта по пару. Приведені залежності оптимального значення коефіцієнту баласту вугілля від вологості при різних значеннях дальності перевезення вантажів.

## THE INFLUENCE A BALLAST OF FUEL ON TECHNICAL AND ECONOMIC PARAMETERS WORK OF POWER OBJECTS

Influence of coefficient of a dead matter, which will consist of an ash content and humidity, on an efficiency of the boiler unit is investigated. Presence of a minimum incremental cost of potential heat from coefficient of ballast is shown. Expression for the minimal cost of hour fuel flow is received at the given productivity of power object on a pair. Dependences optimum values of ballast coefficient of coal on humidity are given at various value of range freight transportation.

При постоянной паропроизводительности котельного агрегата, изменение балласта сжигаемого топлива может оказывать влияние на КПД и величину затрат на топливо. Введем понятие коэффициента балласта  $K_{бал}$ , характеризующего суммарное процентное содержание балласта (влажность и зольность) в топливе. Коэффициент  $K_{бал}$  может быть описан следующей зависимостью

$$K_{бал} = A^p + W^p, \%$$

где  $A^p$  — содержание золы в рабочей массе топлива;  $W^p$  — содержание влаги в рабочей массе топлива.

КПД котельного агрегата определяется как разность между полным количеством тепла (100 %), выделившегося при сгорании топлива и потерями, связанными, как правило, с конструкцией, топкой и всего агрегата в целом. В общем виде эта зависимость записывается как

$$\eta_{ка} = 100 - q_2 - q_3 - q_4 - q_5 - q_6, \%$$

где  $q_2$  – потеря теплоты с уходящими газами;  $q_3$  – потеря тепла от химической неполноты сгорания;  $q_4$  – потеря тепла от механической неполноты сгорания;  $q_5$  – потеря тепла от наружного охлаждения;  $q_6$  – потеря теплоты со шлаком.

Анализируя составляющие потерь, определяющие  $\eta_{к.з.}$ , приходим к выводу, что содержание балласта в топливе может оказывать существенное влияние на потери тепла  $q_2$  и  $q_6$ . Величина остальных потерь в большей степени зависит от конструкции котлоагрегата и выбора способа сжигания. Потеря теплоты с уходящими газами находится по следующей зависимости

$$q_2 = \frac{(I_{yx} - \alpha_{yx} I_{xb}^0)(100 - q_4)}{10^{-2} \cdot [Q_H^r \cdot (100 - K_{бал}) - 600 \cdot W^p] + Q_{в.вн} + i_{тл}}, \% \quad (1)$$

где  $I_{yx}$  – энтальпия уходящих газов при соответствующих избытке воздуха  $\alpha_{yx}$  и температуре  $\theta_{yx}$ ;  $I_{xb}^0$  – энтальпия теоретически необходимого количества воздуха на входе в котельный агрегат;  $Q_H^r$  – низшая теплота сгорания горючей массы, ккал/кг;  $Q_{в.вн}$  – тепло, внесенное поступающим в котельный агрегат воздухом, при подогреве последнего вне агрегата;  $i_{тл}$  – физическое тепло топлива.

Потеря теплоты со шлаком определяется как

$$q_6 = \frac{a_{шл}(c\theta)_{шл} A^p}{10^{-2} \cdot [Q_H^r \cdot (100 - K_{бал}) - 600 \cdot W^p] + Q_{в.вн} + i_{тл}}, \% \quad (2)$$

где  $a_{шл}$  – доля золы, оставшейся после уноса части золы газами;  $(c\theta)_{шл}$  – энтальпия золы. Величины  $a_{шл}$  и  $(c\theta)_{шл}$  находится по данным таблиц [1].

Методика расчета параметров  $I_{yx}$ ,  $Q_{в.вн}$ ,  $i_{тл}$ , входящих в  $q_2$  и  $q_6$  и в значительной степени зависящих от  $W^p$  и  $A^p$ , приведена в [1].

При подстановке в (1) и (2) соответствующих выражений в общем виде для КПД котельного агрегата получена зависимость

$$\eta_{ка} = a - \frac{\left[ (b + cd) \frac{100 - K_{бал}}{100} - e \right] j - f + g K_{бал}}{\frac{i - Q_H^r K_{бал}}{100} + h}, \% \quad (3)$$

где  $a = 100 - q_3 - q_4 - q_5$ ;

$$b = (c\vartheta)_{CO_2} \frac{1,866C^r + 0,6998S_{оп+к}^r}{100} + \frac{0,8(c\vartheta)_{N_2} N^r}{100} + 0,111(c\vartheta)_{H_2O} H^r;$$

$$c = 0,0161(c\vartheta)_{H_2O} + (\alpha_{yx} - 1)(c\vartheta)_в + 0,79(c\vartheta)_{N_2};$$

$$d = 0,0889C^r + 0,0333S^r + 0,265H^r - 0,0333O^r;$$

$$e = \alpha_{yx} I_{x.b}^0 - 0,0124(c\theta)_{H_2O} W^p;$$

$$f = a_{шл} (c\theta)_{шл} W^p;$$

$$g = a_{шл} (c\theta)_{шл};$$

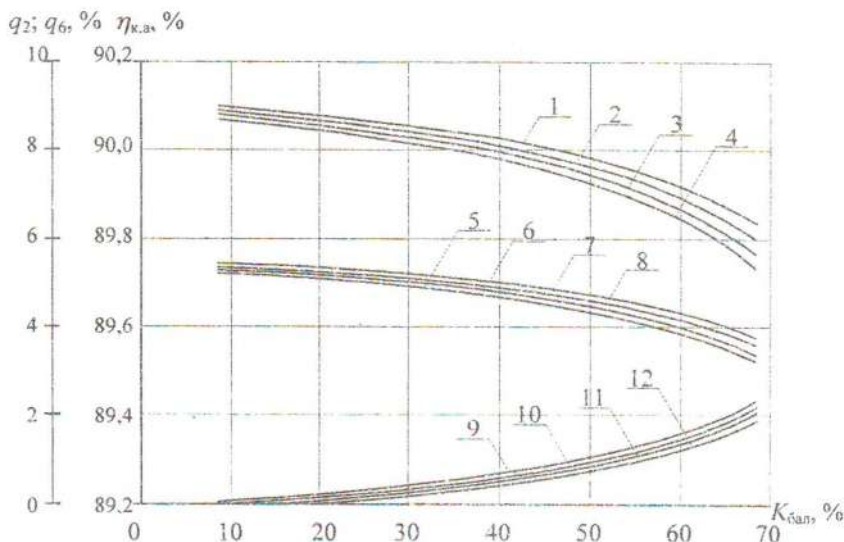
$$h = \left[ \frac{W^p + c_{с.тл} (100 - W^p)}{100} \right] t_{тл};$$

$$i = 100 Q_H^r - 600 W^p;$$

$$j = 100 - q_4.$$

В приведенных соотношениях  $(c\theta)_{CO_2}$  – энтальпия 1 м<sup>3</sup> углекислого газа, ккал/м<sup>3</sup>;  $(c\theta)_{N_2}$  – энтальпия 1 м<sup>3</sup> ккал/м<sup>3</sup>;  $(c\theta)_{H_2O}$  – энтальпия 1 м<sup>3</sup> водяных паров ккал/м<sup>3</sup>;  $(c\theta)_в$  энтальпия воздуха ккал/м<sup>3</sup>;  $O^r, S^r_{op+k}, N^r, H^r, C^r$  – соответственно содержание кислорода, серы, азота, водорода и углерода в горючей массе топлива, %;  $c_{с.тл}^c$  – теплоемкость сухой массы топлива, ккал/(кг·°C);  $t_{тл}$  – температура топлива, °C.

По (3) построены графические зависимости  $\eta_{ка} = f(K_{бал})$  и  $q_2 = f(K_{бал})$  при различных значениях влажности, представленные на рис. 1.



1, 2, 3, 4 –  $\eta_{ка} = f(K_{бал})$  при  $W^p = 5, 10, 15, 20$  % соответственно;  
 5, 6, 7, 8 –  $q_2 = f(K_{бал})$  при  $W^p = 5, 10, 15, 20$  % соответственно;  
 9, 10, 11, 12 –  $q_6 = f(K_{бал})$  при  $W^p = 5, 10, 15, 20$  % соответственно

Рис. 1 – Влияние коэффициента балласта топлива на показатели работы котельного агрегата

Кривые рассчитаны и построены в среде Mathcad 2001, при следующих значениях параметров: низшая теплота сгорания горючей массы топлива –  $Q_n^r = 6\,900$  ккал/кг; в горючей массе топлива содержится углерода –  $C^r = 80\%$ , серы –  $S_{ор+к}^r = 4,65\%$ , азота –  $N^r = 1,45\%$ , кислорода –  $O^r = 8,4\%$ , водорода –  $H^r = 5,5\%$ . При температуре уходящих газов  $\theta = 140^\circ\text{C}$  принимаются следующие значения энтальпий продуктов сгорания: энтальпия  $1\text{ м}^3$  углекислого газа  $(c\theta)_{CO_2} = 58,58$  ккал/м<sup>3</sup>; энтальпия  $1\text{ м}^3$  азота  $(c\theta)_{N_2} = 43,44$  ккал/м<sup>3</sup>; энтальпия  $1\text{ м}^3$  водяных паров  $(c\theta)_{H_2O} = 50,68$  ккал/м<sup>3</sup>. При температуре воздуха на входе в котельный агрегат  $\theta = 30^\circ\text{C}$  энтальпия воздуха  $(c\theta)_в = 9,48$  ккал/м<sup>3</sup>. При температуре золы  $\theta = 1\,450^\circ\text{C}$  энтальпия золы  $(c\theta)_{зл} = 399$  ккал/кг. Коэффициент избытка воздуха  $\alpha_{вх} = 1,4$ ; доля золы, оставшейся после уноса части золы газами  $a_{шл} = 0,2$ ; Энтальпия теоретически необходимого количества воздуха на входе в котельный агрегат  $I_{х,в}^0 = 52,5$  ккал/м<sup>3</sup>; теплоемкость сухой массы топлива  $c_{тл} = 0,236$  ккал/(кг·°C); температура топлива  $t_{тл} = 20^\circ\text{C}$ ; потеря тепла от химической неполноты сгорания  $q_3 = 1\%$ ; потеря тепла от механической неполноты сгорания  $q_4 = 3\%$ ; потеря тепла от наружного охлаждения  $q_5 = 0,6\%$ .

Анализ зависимостей рис. 1 показывает, что при изменении содержания балласта в топливе с  $8\%$  до  $68\%$  КПД снижается всего на  $0,3\%$ , что позволяет сделать вывод о незначительном влиянии балласта топлива на КПД котлоагрегата. При определении расхода и стоимости топлива это позволяет принять КПД постоянной величиной. Представленные на рис. 1 зависимости, описывающие изменение  $q_2$  (кривые 5 – 8) и  $q_6$  (кривые 9 – 12) от  $K_{бал}$  показывают причину столь незначительного влияния коэффициента балласта топлива на КПД котлоагрегата. Зависимости  $q_2$  и  $q_6$  изменяются в противоположных направлениях примерно с равным приращением, что нивелирует их воздействие на  $\eta_{к,в}$ , так как в формулу для нахождения  $\eta_{к,в}$  потери  $q_2$  и  $q_6$  входят в виде слагаемых с одинаковыми знаками.

Учитывая сделанное допущение о постоянстве  $\eta_{к,в}$ , введем понятие коэффициента балласта  $K_{бал}$  в исследование ценообразования угля для энергетических объектов, проведенное в [2].

Для определения нормативной стоимости энергетического угля используется соответствующий преysкурant [3]. Однако, в связи с тем, что фактические показатели отгружаемого угля отличаются от преysкурantных (нормативных), стоимость  $1\text{ т}$  энергетического угля до обогащения определяется с учётом скидок и приплат по следующей формуле

$$U_{\text{г}} = U_{\text{пг}} \cdot [1 + 0,025 \cdot (A_{\text{п}} - A_{\text{н}}) + 0,013 \cdot (W_{\text{п}} - W_{\text{н}})], \text{ грн/т},$$

где  $U_{\text{пг}}$  – преysкурantная цена энергетического угля;  $A_{\text{п}}$ ,  $A_{\text{н}}$  – соответственно преysкурantное и начальное (после добычи) значения зольности энергетического угля, %;  $W_{\text{п}}$ ,  $W_{\text{н}}$  – соответственно преysкурantное и начальное (после добычи) значения влажности энергетического угля, %;  $0,025$  – коэффициент ски-



док (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.

После добычи топливо поступает на обогатительную фабрику, где приобретает новые качественные характеристики. В зависимости от этого изменяются его стоимостные показатели.

Анализируя статистические данные, приведенные в [3], можно сделать вывод о том, что влажность топлива после обогащения повышается в среднем на 2,27 %. Поэтому примем  $W_n = W^p - 2,27$ .

В [3] приводятся статистические данные о себестоимости обогащения и выходе концентрата на различных обогатительных фабриках, усреднив эти данные и произведя соответствующие расчёты, получим значения этих параметров при обогащении угля на 1 % зольности. При этом себестоимость обогащения  $C_o$  определится как

$$C_o = 0,32 \cdot (A_n - K_{\text{бал}} + W^p), \text{ грн/т,}$$

где  $W^p$  – содержание влаги в рабочей массе топлива после обогащения, %; 0,32 – средняя себестоимость обогащения угля на 1 %, грн/т.

Коэффициент, учитывающий изменение массы 1 т рядового угля, прошедшего процесс обогащения, определится как

$$K_m = 1 - 0,02(A_n - K_{\text{бал}} + W^p) - 0,01(W_n - W^p),$$

С учётом вышеизложенного, цена обогащённого топлива запишется в виде

$$C_o = \frac{C_o + C_o \cdot \Pi}{K_m}, \text{ грн/т,} \quad (4)$$

где  $\Pi$  – коэффициент, учитывающий нормативную рентабельность обогатительной фабрики.

Далее топливо транспортируется до места переработки его в тепловую энергию, при этом к стоимости  $C_o$  добавляются транспортные издержки. Так как каменные угли транспортируются преимущественно железнодорожным транспортом, величина транспортных издержек определяется по формуле

$$T = 1,2 \cdot K_n \cdot K_l \cdot (0,656 + 0,002709 \cdot L), \text{ грн/т.}$$

где  $T$  – действующий тариф на перевозку [4];  $K_n$  – коэффициент индексации тарифов;  $K_1$  – коэффициент, применяемый к действующим тарифам и выбираемый с учётом класса груза [5];  $L$  – среднепоясное расстояние перевозки, км.

При этом следует учитывать, что данная формула соответствует тарифной схеме №1, предполагающей использование универсальных вагонов (в том числе полувагонов), принадлежащих «Укрзалізнице» при отправке более 80 т груза в одной партии [4].

Таким образом, цена 1 т топлива на этом этапе составляет

$$C_1 = C_0 + K_2 + T, \text{ грн/т,}$$

где  $K_2$  – стоимость погрузочно-разгрузочных работ для 1 т угля, грн.

Прикладная ценность топлива для энергетических объектов определяется содержанием в нём потенциального тепла. Цена 1 Гкал тепла, содержащегося в топливе, составит

$$C_2 = \frac{C_1}{Q_n^p}, \text{ грн/Гкал,} \quad (5)$$

где  $Q_n^p$  – низшая рабочая теплота сгорания топлива, определяется из выражения [6]

$$Q_n^p = 10^{-3} \cdot [Q_n^r \cdot (100 - K_{\text{бал}}) - 600 \cdot W^p], \text{ ккал/кг.}$$

Рассмотрим также стоимость топлива, приведённую к единице времени работы котельного агрегата. В этом показателе учтены суммарные издержки производства тепла. Расход топлива за час работы котельного агрегата определится как

$$B = \frac{Q_{\text{ка}}}{Q_n^p \eta_{\text{ка}}}, \text{ т/ч,}$$

где  $Q_{\text{ка}}$  – мощность котлоагрегата, Гкал/ч.

Тогда цена топливной составляющей в единицу времени составит

$$C_3 = C_1 \cdot B = \frac{C_1}{Q_n^p} \cdot \frac{Q_{\text{ка}}}{\eta_{\text{ка}}}, \text{ грн/ч.} \quad (6)$$

Анализируя зависимости (5) и (6) приходим к выводу о том, что зависимости, описывающие  $C_2$  и  $C_3$  имеют одинаковый характер и различаются лишь

множителем  $Q_{ка}/\eta_{ка} = const$ . На рис. 2 представлены зависимости цены  $Ц_3$  от коэффициента балласта топлива  $K_{бал}$  при различных значениях влажности.

Для расчёта зависимостей использованы следующие значения параметров: преysкурантная цена на угольную продукцию для энергетики  $Ц_{пр} = 107,63$  грн/т; преysкурантное значение зольности угольной продукции  $A_n = 27,95$  %; начальное значение зольности угольной продукции  $A_n = 50$  %; преysкурантное значение влажности угольной продукции  $W_n = 9,56$  %; фактическое значение влажности угольной продукции  $W^p = 8,35$  (значения  $Ц_{пр}$ ,  $A_n$ ,  $W_n$  и  $W^p$  получены в результате усреднения значений этих показателей для 57 обогатительных фабрик из [3]). Коэффициент балласта топлива  $K_{бал}$  изменяется от 20 до 80 %; коэффициент, учитывающий нормативную рентабельность обогатительной фабрики  $\Pi = 1,2$ ; коэффициент индексации тарифов  $K_n = 6,071$ ; коэффициент, применяемый к действующим тарифам, выбираем с учётом того, что уголь является грузом 2 класса  $K_1 = 1,38$ ; среднелоясное расстояние перевозки  $L = 20$  км; стоимость погрузочно-разгрузочных работ для угля  $K_2 = 5$  грн/т; низшая теплота сгорания горючей массы  $Q_n^r = 6\,900$  ккал/кг; мощность котлоагрегата  $Q_{ка} = 150$  Гкал/ч; КПД котлоагрегата  $\eta_{ка} = 0,9$ . При этом следует отметить, что для данного сочетания параметров значения  $K_{бал}$ , соответствующие физическому смыслу выражения будут находиться в пределах от 20 до 58,35 %, так как  $A_n$  принято равным 50 % и в сумме с влажностью после обогащения не может превышать 58,35 %, принятый же интервал был выбран для отслеживания тенденции изменения функции цены.

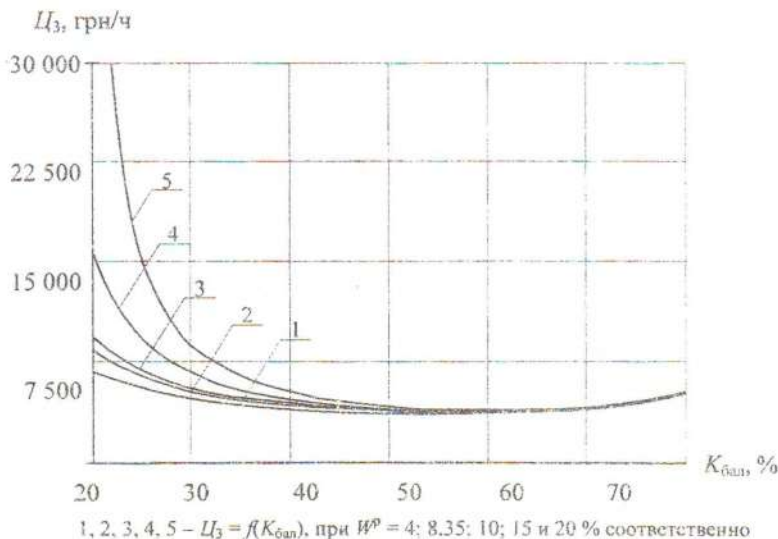


Рис. 2 – Стоимость часового расхода топлива на ТЭЦ при различных значениях коэффициента балласта и влажности топлива

Графики на рис. 2 имеют минимумы, которым соответствует оптимальное для такого сочетания параметров содержание балласта. Учитывая, что при  $K_{\text{бал}} = \text{const}$  увеличение влажности топлива приводит к уменьшению зольности, можно сделать вывод о большем влиянии на стоимостные показатели зольности топлива по отношению к влажности. На рис. 2 показано, что после прохождения минимума  $U_3$  влияние влажности на цену топлива фактически незначительно. Из анализа статистических данных по обогащательным фабрикам [3] можно сделать вывод о том, что при обогащении влажности каменных углей изменяется незначительно и на стоимость угольной продукции влияния практически не оказывает. Влияние влажности на цену угольной продукции учитывается до обогащения, далее влажность почти не изменяется и, как следствие, цена тоже изменяется незначительно.

Из анализа рис.2 следует вывод о существовании оптимального значения  $K_{\text{бал}}$ , при которой цена топлива минимальна. Подставив в (5) и (6) все константы, эти выражения можно записать в виде

$$U_2 = \frac{\frac{k - l \cdot K_{\text{бал}}}{m + n \cdot K_{\text{бал}}} + q}{o - p \cdot K_{\text{бал}}}, \text{ грн/Ткал}, \quad (7)$$

где

$$k = U_{\text{н}} \cdot [1 + 0,025 \cdot (A_{\text{н}} - A_{\text{н}}) + 0,013 \cdot (W_{\text{н}} - W^p + 2,27)] + 0,32 \cdot \Pi \cdot (A_{\text{н}} + W^p);$$

$$l = 0,032\Pi;$$

$$m = 1,0227 - 0,02 \cdot (A_{\text{н}} + W^p);$$

$$n = 0,02;$$

$$q = K_2 + 1,2 \cdot K_{\text{н}} \cdot K_1 \cdot (0,656 + 0,002709 \cdot L);$$

$$o = 10^{-3} \cdot (Q_{\text{н}}^r - 6 \cdot W^p);$$

$$h = 10^{-5} \cdot Q_{\text{н}}^r;$$

$$U_3 = \frac{Q_{\text{к.а}} \cdot \left( \frac{k - l \cdot K_{\text{бал}}}{m + n \cdot K_{\text{бал}}} + q \right)}{\eta_{\text{к.а}} \cdot (o - p \cdot K_{\text{бал}})}, \text{ грн/ч}. \quad (8)$$

Для нахождения минимума цены продифференцируем  $U_2$  и  $U_3$  по  $K_{\text{бал}}$  и приравняем полученные результаты к нулю. Так как после дифференцирования при нахождении корней множитель  $Q_{\text{к.а}}/\eta_{\text{к.а}}$  сокращается, для (7) и (8) получаем тождественные корни. Из двух полученных выражений выберем то, которое соответствует физическому смыслу параметра ( $K_{\text{бал}}$  является положительной величиной). В результате получим выражение для нахождения оптимального значения  $K_{\text{бал}}$ , минимизирующего цены  $U_2$  и  $U_3$



$$K_{\text{бал опт}} = \frac{-(k + qm)}{qn - l} + \frac{[nkp(k + qm) + lm(kp + qmp - lo) + no(qlm + qnk + lk)]^{1/2}}{\sqrt{hd(id - b)}}, \quad \%,$$

Подставив в (7) и (8) соответствующие значения  $K_{\text{бал}}$ , получим два выражения, первое из которых соответствует минимуму цены, приведённой к  $\Gamma_{\text{кал}}$  тепла, содержащегося в топливе, а второе – минимуму цены часового расхода топлива при заданной удельной паропроизводительности  $Q_{\text{к.а.}}$   $\Gamma_{\text{кал/ч}}$

$$C_{2\text{min}} = \frac{\frac{k - lK_{\text{бал опт}}}{m + nK_{\text{бал опт}}} + q}{o - pK_{\text{бал опт}}},$$

$$C_{3\text{min}} = \frac{Q_{\text{к.а.}}}{\eta_{\text{к.а.}}} \cdot C_{2\text{min}}.$$

На рис. 3 представлено влияние изменения влажности топлива на оптимальный коэффициент балласта  $K_{\text{бал опт}}$  и минимальную стоимость топлива  $C_{3\text{min}}$ , при различных значениях дальности транспортировки угля ( $L = 20; 200; 400$  км).

Как видно из рис. 3, с ростом влажности монотонно растут значения  $K_{\text{бал опт}}$ , значения  $C_{3\text{min}}$  при этом также возрастают, хотя кривые носят различный характер. Рост  $C_{3\text{min}}$  обусловлен тем, что, как следует из анализа  $K_{\text{бал опт}}$ , при увеличении содержания влаги в топливе, зольность его в пределах  $K_{\text{бал опт}}$  снижается, что в свою очередь, вызывает естественный рост цены. Минимумы цены, графики которых представлены на рис. 3 иллюстрируют эту тенденцию. При дальнейшем увеличении влажности происходит уменьшение минимумов цены  $C_{3\text{min}}$ . Как следует из анализа зависимости (4), это обусловлено тем, что при дальнейшем росте  $W^p$  и снижении  $A^p$  уменьшение цены на энергетический уголь  $C_1$  начинает превалировать над ростом затрат на обогащение  $C_e$ . Зависимости  $C_{2\text{min}} = f(W^p)$ , полученные для цены  $C_2$  имеют тот же характер, что и зависимости, полученные для  $C_{3\text{min}} = f(W^p)$ , представленные на рис. 3.

Обработав статистические данные [3], найдём среднюю зольность угля после обогащения  $A^p = 13,58$ . Анализ полученных графических и аналитических зависимостей показывает, что при рассматриваемом сочетании параметров уголь экономически невыгодно обогащать до такой степени, так как значения величины коэффициента  $K_{\text{бал}}$ , минимизирующего цену, превышают 50 %. Например, для условий слоевого или факельного сжигания зольность топлива не должна превышать 30 %. Как следует из рис. 2, для минимизации себестоимости топлива, его выгоднее обогащать до максимально приближенного к 30 % содержания золы.

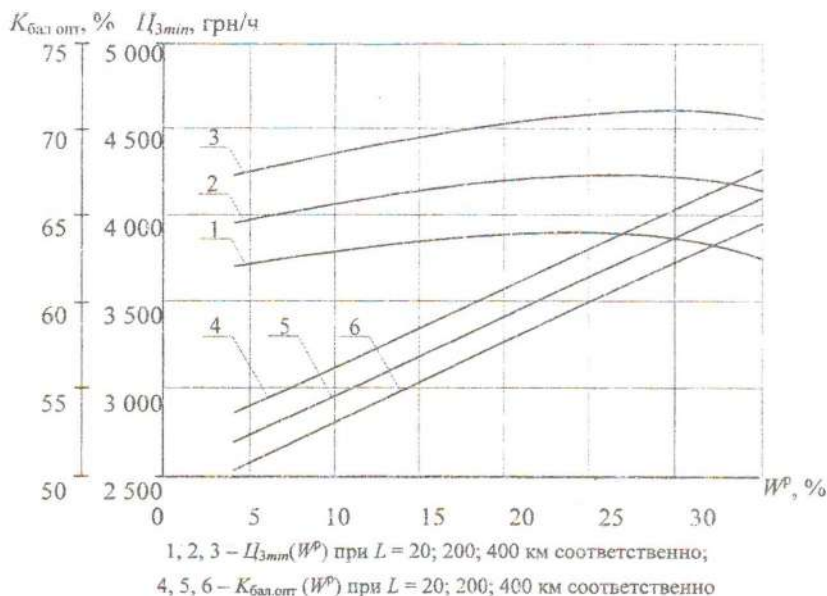


Рис. 3 – Оптимальные значения  $K_{бал}$  и затрат на топливо от влажности при различных значениях  $L$

Проведённые исследования позволяют сделать вывод о том, что цена за 1 Гкал потенциального тепла, а также стоимость часового расхода топлива имеют явно выраженный минимум, обусловленный наличием рационального соотношения между технологическими процессами добычи, обогащения и транспортировки твёрдого топлива (угля). Сопоставляя рассматриваемые системы расчётов за топливо, приходим к выводу о том, что более рациональным является определение цены топлива с учётом скрытого в нём тепла, так как при этом находят своё отражение потребительские свойства топлива как товара, основным из которых является теплотворная способность. Разработанная методика позволяет учесть влияние показателей, характеризующих забалластированность топлива (зольности и влажности), на показатели работы энергетических объектов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тепловой расчет котельных агрегатов (нормативный метод) под ред. Е.В. Кузнецова и др. – М.: Энергия, 1973. – 295 с.
2. Чемерис И.Ф., Кванчичани Т.Т. С обоснование оптимальных показателей качества каменного угля для энергетических объектов // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2002. – Вып.35. – 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 кесвінництво №1) та коефіцієнтів, що застосовуються до тарифів цього збірника. Затверджений Наказом Міністерства транспорту України від 15 листопада 1999 р. № 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. Равич М.Б. Топливо и эффективность его использования. – М.: Наука, 1971. – 358 с.

УДК 622.831.322

С. П. Мивеев, А. А. Прусова,  
М. Г. Корнилов  
(ИГТМ НАН Украины)

## ОЦЕНКА ЭНЕРГИИ ВОЛНОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ДЛЯ АКТИВАЦИИ МОЛЕКУЛ МЕТАНА В МИКРОПОРИСТОМ ПРОСТРАНСТВЕ УГОЛЬНОГО ВЕЩЕСТВА

В роботі встановлено критичний рівень хвильової енергії для подолання потенціального бар'єра виходу молекул метану з мікропор вугілля шляхом дифузії через об'єм твердої фази.

## EVALUATION OF ENERGY OF WAVE ACTION FOR AN ACTIVATION OF MOLECULAS OF METHANE IN MICROPOROUS SPACE OF COAL MATTER

In paper the critical level of wave energy for overcoming potential energy barrier of a yield of molecules of methane from micropores of coal by means of diffusion through volume of a solid phase is established.

В настоящее время общепризнанными способами, позволяющими осуществлять интенсификацию газоотдачи углепородного массива, являются способы, основанные на волновом возмущении среды [1, 2]. При их практической реализации наибольшие трудности возникают в разработке методики расчета волновых параметров, интенсифицирующих процесс десорбции. Определяющее значение здесь имеет математическое моделирование механизма выхода метана из пористого пространства угольного вещества при его волновом возмущении, которое сопровождается взаимосвязанными процессами деформирования твердого скелета и повышением энергии активации молекул метана в порах угля. В данной работе выполнена энергетическая оценка возможности преодоления потенциального барьера выхода молекул метана из микропор угля посредством диффузии через объем твердой фазы при волновом воздействии на углепородный массив.

Для условий статики механизм диффузии молекул метана через околпорное пространство угольного вещества описан в работах [3, 4, 5], и выглядит следующим образом. Под давлением газа в угле наблюдается сорбционное набухание, значительно повышающее величину внутренних напряжений, достигающих значений порядка  $5 \cdot 10^9$  Па [3]. Деформации, соответствующие им, приводят к конформационным перестройкам в боковых цепях ароматических