

Днепродзержинский государственный технический университет
*ДВНЗ «Украинский государственный химико-технологический университет»

СТЕПЕНЬ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ УГОЛЬНОЙ ШИХТЫ КАК ФАКТОР ВОЗДЕЙСТВИЯ НА КАЧЕСТВО КОКСА

Введение. Технология подготовки угольной шихты из петрографически однородных обогащенных углей должна обеспечивать оптимальное соотношение крупных и мелких частиц для получения максимальной насыпной плотности, а в крупных классах – такое содержание хорошо спекающихся компонентов, которое создает условия для спекания и коксообразования.

В связи с этим рассматривали проблему влияния степени измельчения углей различных марок на качество кокса из шихт постоянного марочного и гранулометрического состава [1-5].

Постановка задачи. Экспериментально исследовать варианты шихт, составленных из различных классов крупности отдельных марок углей, исходя из того, что насыпная плотность углей марок Г и ОС увеличивается с повышением их крупности. В качестве контрольной принята плотность шихты после окончательного дробления. Марочный состав опытных шихт выдерживали постоянным и соответствующим марочному составу шихты ОАО “Баглейский коксохимический завод”. Опытные шихты составляли по принципу сосредоточения отдельных марок углей или бинарных смесей в одном из классов крупности. Остальные компоненты распределяли пропорционально их содержанию в шихте (предполагали, что при этом промежутки между крупными зёрнами заполняются частицами мелких классов).

Результаты работы. *План эксперимента.* Разработали алгоритм построения плана эксперимента для исследования влияния степени измельчения углей разных марок на качество кокса.

План эксперимента состоит из трех блоков, два из которых образуются варьированием условий опытов путем представления максимально возможным количеством одного из классов крупности:

- угля каждой марки (блок 1);
- одновременно углей двух марок (блок 2).

Блок 3 включает 1 опыт, в котором марочный состав каждого класса крупности совпадает с марочным составом шихты.

Если J – число марок углей, а G – число классов крупности угля, то число опытов в описанном выше плане составит

$$N = N_1 + N_2 + N_3,$$

где

$$N_1 = J \cdot G,$$

$$N_2 = C_J^2 \cdot G,$$

$$N_3 = 1.$$

Таким образом

$$N = G(J + C_J^2) + 1.$$

Формулы для расчета гранулометрического состава шихты в u -том опыте ($u = 1, 2, \dots, N$).

Максимум γ -того класса угля i -той марки:

– если $d_{\gamma\kappa} - d_{i\text{м}} = \delta_{\gamma i} \leq 0$, то $d_{\gamma i}^u = d_{\gamma\kappa}$ и $d_{\gamma \hat{i}}^u = 0$,

где $d_{\gamma\kappa}$ – доля γ -ого класса крупности в шихте;

$d_{i\text{м}}$ – доля i -той марки в шихте;

$d_{\gamma i}^u$ – доля γ -ого класса i -той марки в шихте в u -том опыте;

$d_{\gamma \hat{i}}^u$ – доли γ -ого класса остальных марок в шихте ($i \neq \hat{i}$) в u -том опыте.

Остаток i -той марки, равный $\delta_{\gamma i}$, представляем классами крупности $\hat{\gamma}$ ($\hat{\gamma} \neq \gamma$) пропорционально их долям в шихте $d_{\hat{\gamma}\kappa}$:

$$d_{\hat{\gamma} i}^u = |\delta_{\gamma i}| \cdot \frac{d_{\hat{\gamma}\kappa}}{\sum_{\hat{\gamma}} d_{\hat{\gamma}\kappa}};$$

– если $d_{\gamma\kappa} - d_{i\text{м}} = \delta_{\gamma i} > 0$, то $d_{\gamma i}^u = d_{i\text{м}}$, а остаток γ -ого класса $\delta_{\gamma i}$ распределяем между остальными марками по

$$d_{\hat{\gamma} i}^u = \delta_{\gamma i} \cdot \frac{d_{\hat{i}}}{\sum_{\hat{i}} d_{\hat{i}}}.$$

Максимум γ -ого класса углей i -той и j -той марок ($i < j$ и $i = 1, 2, \dots, m-1$, а $j = 2, \dots, m$):

– если $d_{\gamma\kappa} - (d_{i\text{м}} + d_{j\text{м}}) = \delta_{\gamma(ij)} \leq 0$, то $d_{\gamma i}^u + d_{\gamma j}^u = d_{\gamma\kappa}$, так что

$$d_{\gamma i}^u = d_{\gamma\kappa} \cdot \frac{d_{i\text{м}}}{d_{i\text{м}} + d_{j\text{м}}};$$

$$d_{\gamma j}^u = d_{\gamma\kappa} \cdot \frac{d_{j\text{м}}}{d_{i\text{м}} + d_{j\text{м}}};$$

$$d_{\gamma \hat{i}}^u = 0.$$

Остаток суммы i -той и j -той марок, равный $\delta_{\gamma(ij)}$, представляем количествами классов крупности $\hat{\gamma}$, пропорциональными их долям в шихте:

$$d_{\hat{\gamma}(ij)}^u = |\delta_{\gamma(ij)}| \cdot \frac{d_{\hat{\gamma}\kappa}}{\sum_{\hat{\gamma}} d_{\hat{\gamma}\kappa}}.$$

Разделение $d_{\hat{\gamma}(ij)}^u$ по маркам выполняем по формулам:

$$d_{\hat{\gamma} i}^u = d_{\hat{\gamma}(ij)}^u \cdot \frac{d_{i\text{м}}}{d_{i\text{м}} + d_{j\text{м}}}$$

и

$$d_{\hat{\gamma} j}^u = d_{\hat{\gamma}(ij)}^u \cdot \frac{d_{j\text{м}}}{d_{i\text{м}} + d_{j\text{м}}}.$$

Одинаковый марочный состав всех классов крупности

$$d_{\gamma i}^u = d_{\gamma k} \cdot \frac{d_{iM}}{100}.$$

Для реализации этого алгоритма приняли следующие марочный и гранулометрический составы шихты (табл.1, 2).

Таблица 1 – Марочный состав шихты, d_{iM} , % масс.

Марка угля	Г	Ж	К	ОС
d_{iM} , % масс.	32,0	36,0	16,0	16,0

Таблица 2 – Гранулометрический состав шихты, $d_{\gamma k}$, % масс.

Класс крупности, мм	> 6,0	6,0–3,0	3,0–0,5	0,5–0
$d_{\gamma k}$, % масс.	14,0	18,0	42,0	26,0

Варьировали содержание классов крупности:

$$\begin{aligned} 0,5-0 \text{ мм} & - d_{1K}, \\ 6,0-3,0 \text{ мм} & - d_{2K}, \\ > 6,0 \text{ мм} & - d_{3K}, \end{aligned}$$

углей марок

$$\begin{aligned} \text{Г} & - d_{1M}, \\ \text{Ж} & - d_{2M}, \\ \text{К} & - d_{3M}, \\ \text{ОС} & - d_{4M} \end{aligned}$$

в области, заданной граничными условиями

$$d_{1M} + d_{2M} + d_{3M} + d_{4M} = 100, \quad (1)$$

$$d_{1K} + d_{2K} + d_{3K} = 58. \quad (2)$$

Поскольку в данной задаче $J = 4$ и $G = 3$, находим число опытов в

– блоке 1: $N_1 = 4 \cdot 3 = 12$;

– блоке 2: $N_2 = \frac{4 \cdot 3}{1 \cdot 2} \cdot 3 = 18$;

– блоке 3: $N_3 = 1$.

Всего в плане должно быть $N = 3 \left(4 + \frac{4 \cdot 3}{1 \cdot 2} \right) + 1 = 31$ опыт.

Реализация разработанного алгоритма построения плана эксперимента позволила составить варианты гранулометрического состава шихты с разной степенью измельчения углей отдельных марок (табл.3).

При оценке значимости коэффициентов корреляции между столбцами плана, представленных на рис.1, исходили из неравенства:

$$t_P(n-2) > |r_{ij}| \cdot \sqrt{\frac{n-2}{1-r_{ij}^2}}, \quad (3)$$

где n – число опытов;

P – уровень значимости;

$t_p(n - 2)$ – двухсторонний t -критерий.

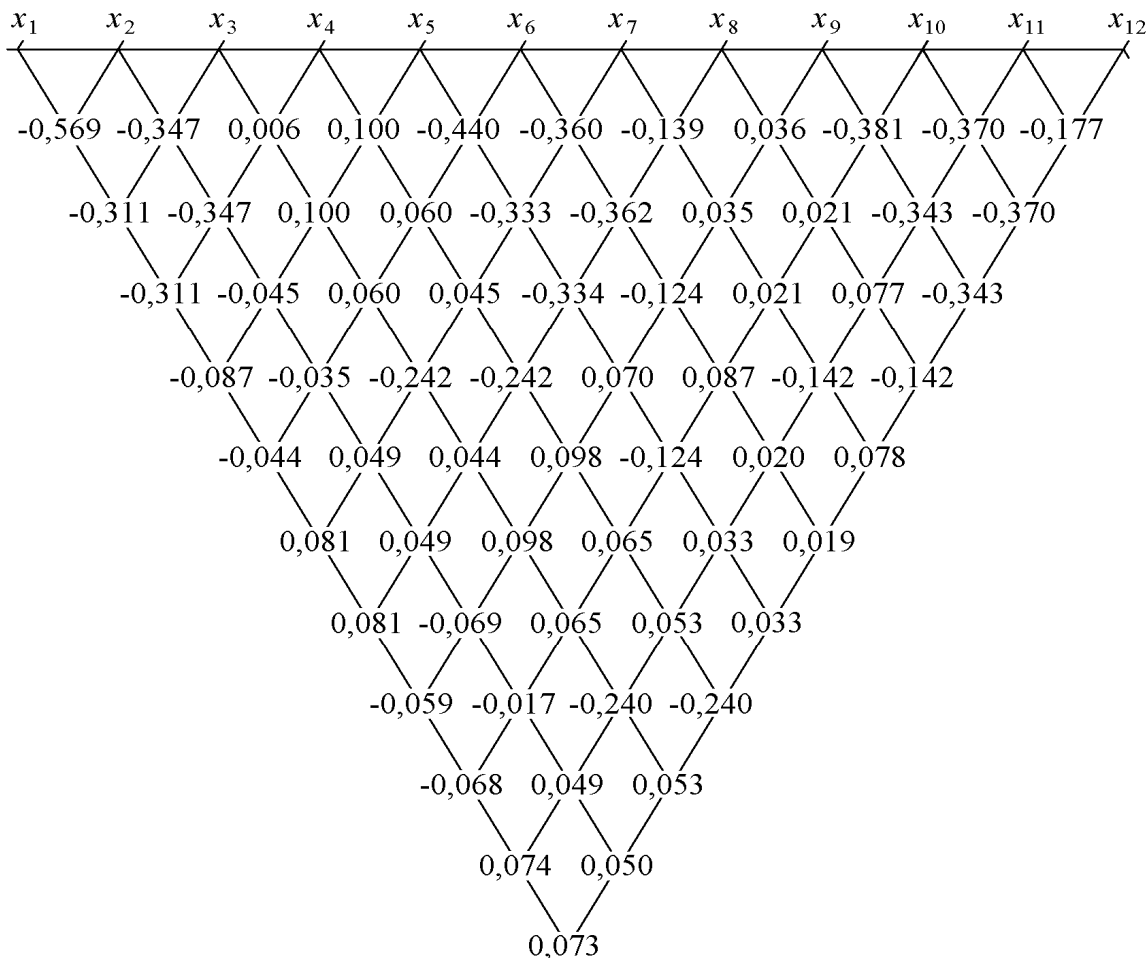


Рисунок 1 – Парные коэффициенты корреляции между вектор-столбцами (значениями факторов) плана эксперимента

Для $N = 31$ при $p = 0,05$ нашли по таблице Приложения 2 [6], что $t_{0,05}(29) = 2,045$. Далее из (3) получили критическое значение коэффициента корреляции в виде:

$$|r_{ij}| < \frac{t_p(n-2)}{\sqrt{n-2+t_p^2(n-2)}}. \quad (4)$$

Подставляя в (4) численные значения, получаем $|r_{ij}| < 0,3550$. Это означает, что для тех пар столбцов плана эксперимента (табл.3), для которых выполняется это неравенство, с вероятностью 95% принимается гипотеза об отсутствии связи между ними.

Как видно из диаграммы на рис.1, это условие не выполняется только в 7-ми случаях из 66-ти.

Проверка той же гипотезы с вероятностью 97% ($|r_{ij}| < 0,396$) оставляет значимыми только два из 66-ти коэффициентов корреляции.

На этом основании делаем вывод об удовлетворительных свойствах плана эксперимента.

Переход к кодированным переменным осуществляли по формуле:

$$x_i = \frac{\hat{x}_i - \hat{x}_{i0}}{\Delta\hat{x}_i}$$

при значениях \hat{x}_{i0} и $\Delta\hat{x}_i$, приведенных в табл.4.

Таблица 4 – Параметры кодирования факторов

Факторы	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}
Центральный уровень \hat{x}_i	6,5	6,5	6,5	6,5	4,5	4,5	4,5	4,5	3,5	3,5	3,5	3,5
Единица варьирования $\Delta\hat{x}_i$	6,5	6,5	6,5	6,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5

Условия опытов в кодированных величинах и результаты эксперимента приведены в табл.5,

где M25 и M10 – показатели “холодной” прочности кокса, % масс;

$\gamma_{ш}$ – насыпная плотность угольной шихты, кг/м³;

D_0 и D – средние гармонические размеры кусков кокса до и после испытания в малом барабане соответственно, %;

$K = \frac{D_0 - D}{D_0} \cdot 100$ – степень разрушения кокса в малом барабане, %;

Φ_k – выход металлургического кокса, %.

Анализ результатов эксперимента. Значимые с 95%-ной вероятностью найденные оценки тесноты связей между откликами процесса приведены на рис.2.

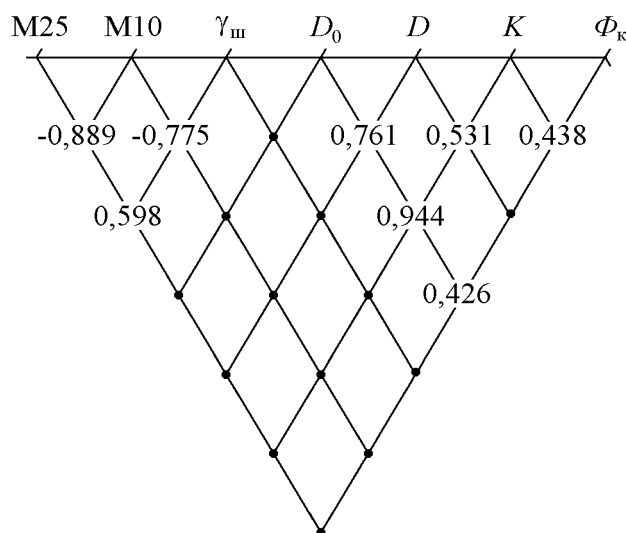


Рисунок 2 – Зависимости между откликами процесса

Видно, что представление в шихте углей одних и тех же марок зернами разной крупности инициирует проявления взаимосвязей плотности шихты и показателей “холодной” прочности кокса (M25 и M10), а также гранулометрического состава (D_0 , $D_{ср.}$, K) и выхода металлургического кокса (Φ_k).

Эти связи представлены на рис.3-10.

Из этих данных следует, что изменение степени измельчения углей разных марок изменяет в достаточно широких пределах “холодную” прочность кокса, насыпную плотность угольной шихты, средние размеры кусков и выход металлургического кокса.

При этом:

- M25 и M10 связаны обратно пропорционально, что соответствует физической природе этих показателей (рис.3);

- рост плотности шихты $\gamma_{ш}$ увеличивает прочность кокса по M25 и снижает – по M10 (рис.4-5), но не проявляется на других показателях;

- размер кокса после разрушающих воздействий в малом барабане D определяется его размером до испытания D_0 (рис.6; $r(D, D_0) = 0,761$), что порождает исключительно тесную связь D_0 с K (рис.7; $r(D_0, K) = 0,944$) и существенно более слабую D с K (рис.8; $r(D, K) = 0,531$);

- выход металлургического кокса Φ_k значимо связан с исходной крупностью кокса D_0 (рис.9; $r(D_0, \Phi_k) = 0,426$) и, как следствие, со степенью разрушения кокса в малом барабане (рис.10; $r(K, \Phi_k) = 0,438$).

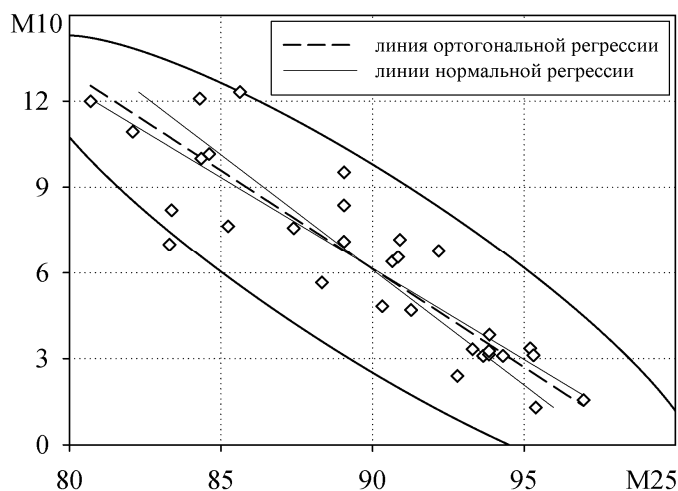


Рисунок 3 – Линии ортогональной и нормальной регрессии и 95%-ный доверительный контур для связи между показателями M25 и M10

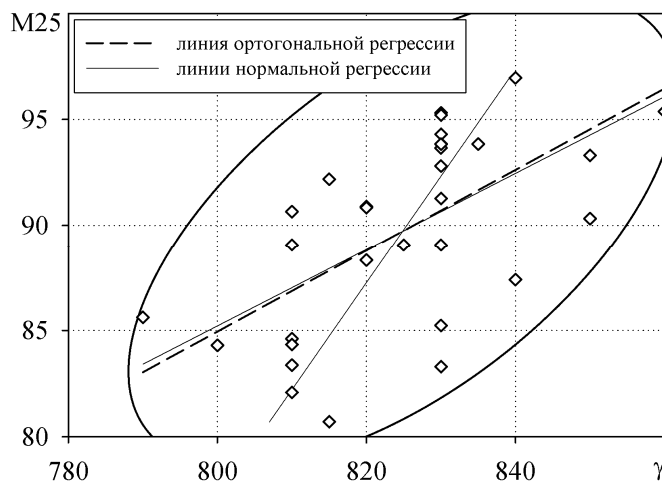


Рисунок 4 – Линии ортогональной и нормальной регрессии и 95%-ный доверительный контур для зависимости показателя M25 от насыпной плотности шихты $\gamma_{ш}$

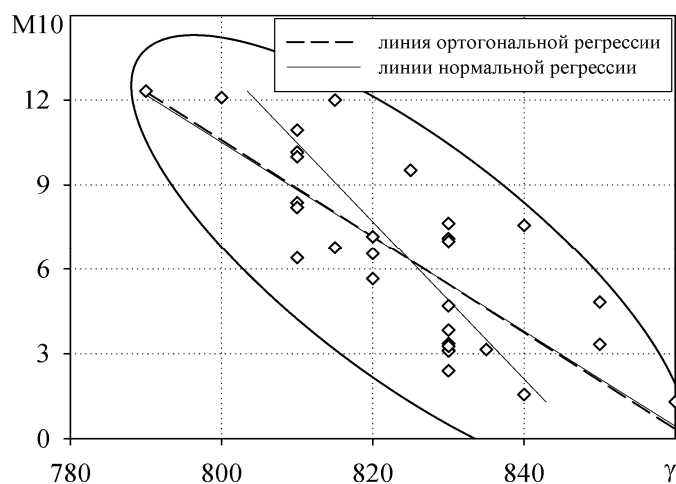


Рисунок 5 – Линии ортогональной и нормальной регрессии и 95%-ный доверительный контур для зависимости показателя M10 от насыпной плотности шихты $\gamma_{ш}$

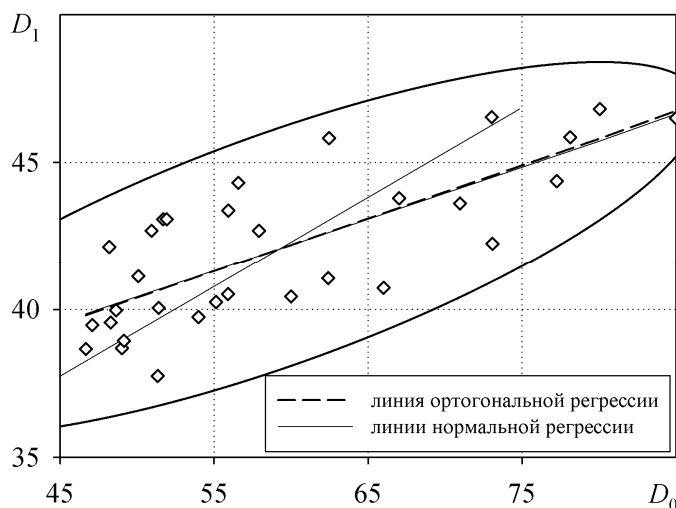


Рисунок 6 – Линии ортогональной и нормальной регрессии и 95%-ный доверительный контур для связи среднегармонических размеров кусков кокса до и после испытания в малом барабане

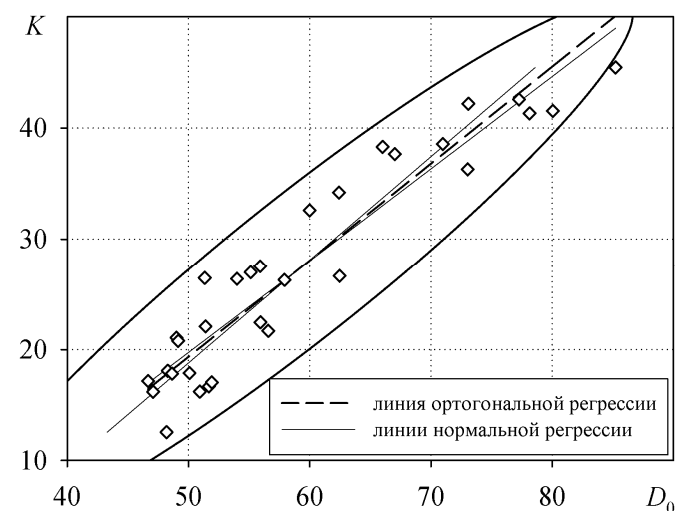


Рисунок 7 – Линии ортогональной и нормальной регрессии и 95%-ный доверительный контур для связи среднегармонического размера кусков кокса до испытания D_0 и степени его разрушения K

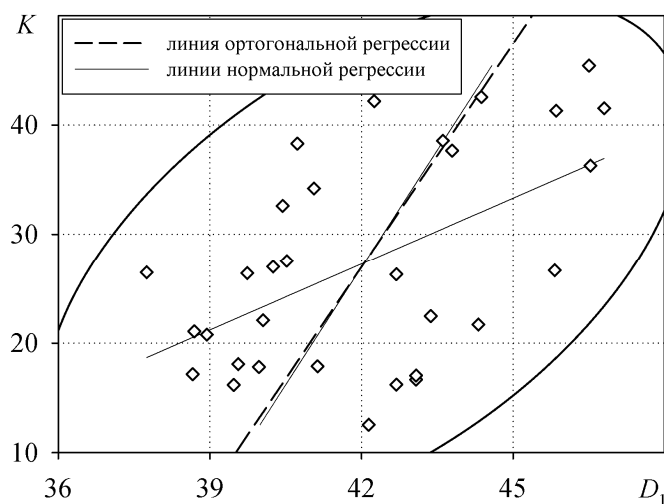


Рисунок 8 – Линии ортогональной и нормальной регрессии и 95%-ный доверительный контур для связи между среднегармоническим размером куска кокса после испытания в барабане с выходом кокса Φ_k

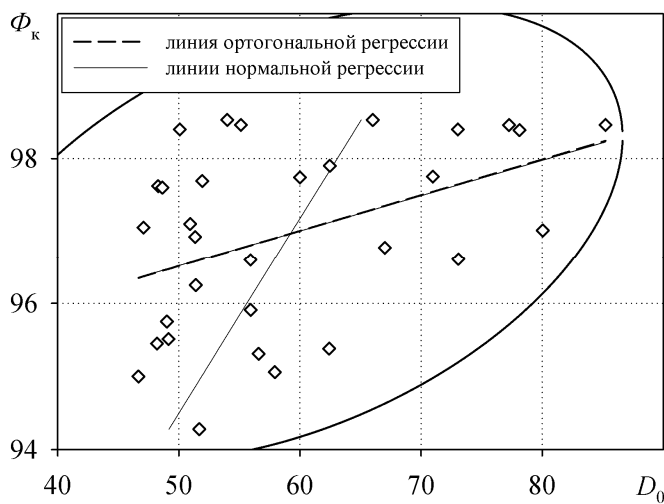


Рисунок 9 – Линии ортогональной и нормальной регрессии и 95%-ный доверительный контур для связи между Φ_k и D_0

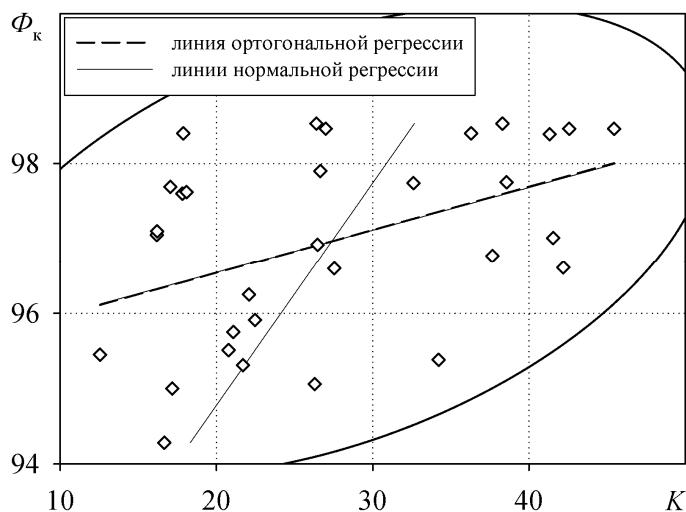


Рисунок 10 – Линии ортогональной и нормальной регрессии и 95%-ный доверительный контур для связи между Φ_k и K

Построение моделей. Для оценки влияния 12-ти факторов, связанных со степенью измельчения углей разных марок, на отклики процесса строили полиномы 1-ой, 2-ой и 3-ей степени, используя алгоритм и программу индуктивного регрессионного анализа [7]. Этот алгоритм отбирает и включает в модель факторы и их комбинации, наиболее тесно связанные с откликом. При этом критерием для оценки значимости вклада $(m+1)$ -го признака с учетом уже включенных в уравнение регрессии m признаков x_1, x_2, \dots, x_m служит величина

$$F = (n - m - 2) \cdot \frac{\rho_{Y(x_{m+1})}^2 - \rho_{Y(x_m)}^2}{1 - \rho_{Y(x_{m+1})}^2}, \quad (5)$$

где n – число опытов;

m – число признаков, включенных в уравнение;

ρ – множественный коэффициент корреляции.

Величина F из (5) подчиняется F -распределению с числом степеней свободы $f_1 = 1$ и $f_2 = n - m - 2$.

Включение новых факторов прекращается, когда $F \leq F_p(f_1, f_2)$.

Поскольку в нашей задаче $n = 31$, имеем $f_1 = 1$ и $f_2 = 29 - m$. Соответствующие значения $F_p(1, 29 - m)$ брали при $P = 0,025, 0,05$ и $0,10$.

Анализ полученных уравнений. Таким образом, для каждого из 7-ми откликов получили по 9 уравнений (всего получили 63 уравнения), лучшие из которых должны удовлетворять следующим требованиям:

1. Максимальная величина множественного коэффициента корреляции.
2. Минимальная величина уровня значимости p (т.е. максимальная надежность).
3. Минимальное число включенных факторов.
4. Низкая степень полинома.

Общей особенностью всех уравнений является их нелинейность, появляющаяся преимущественно в виде взаимодействия факторов.

Уравнения, лучше других удовлетворяющие перечисленным требованиям и поэтому принятые для анализа, имеют вид:

$$\gamma_{ш} = 829,17 - 8,950x_2x_8 + 9,207x_3x_4 + 5,614x_{10}x_{11} + 1,864x_1^2 + 11,442x_8 + 8,524x_4x_8 + 6,354x_2x_7 \quad ; \quad (6)$$

$$\Phi_k = 96,941 + 1,808x_3x_7 - 0,539x_5x_7 + 1,911x_2x_{12} - 0,849x_2x_3 + 0,739x_9x_{12} - 0,457x_7x_8 \quad ; \quad (7)$$

$$M25 = 94,812 - 7,361x_5 - 1,335x_6^2 - 10,011x_3x_5 - 1,612x_{10}^2 + 2,231x_9x_{12} - 1,878x_9x_{10} - 4,795x_3x_{12} \quad ; \quad (8)$$

$$M10 = 3,229 - 1,810x_8 - 2,661x_7 - 2,523x_1x_6 + 1,518x_2x_3 - 1,422x_{10}x_{11} - 1,671x_6x_7 - 1,078x_9x_{12} - 1,197x_5x_7 + 1,267x_4^2 \quad ; \quad (9)$$

$$K = 23,696 - 12,836x_5x_{11}x_{12} - 12,480x_3x_4^2 - 2,409x_5^2x_7 + 4,578x_6x_7x_8 + 4,233x_3 \quad (10)$$

Для удобства вытекающие из этих уравнений направления изменения факторов, позитивно отражающиеся на рассматриваемых откликах, представлены в табл.6.

Таблиця 6 – Схема направлений изменения уровней факторов

Класс крупности		0,5–0 мм				6–3 мм				>6 мм			
Марка угля		Г	Ж	К	ОС	Г	Ж	К	ОС	Г	Ж	К	ОС
Фактор		x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}
Отклик	$\gamma_{ш}$	↑	↓	↑	↑			↓	↑		↑	↑	
	Φ_k		↓	↑		↓		↑	↓	↑			↓
	M25			↑		↓	0			↓	↑или 0		↓
	M10		↓	↑	0	↓	↓	↓	↓	↑	↑	↑	↑
	K			↑	↑	↑	↑	↑	↓			↑	↑

Из приведенных данных следует, что:

– влияние угля марки Г на показатели “холодной” прочности и выход кокса реализуется через содержание классов крупности 6–3 мм и >6 мм, тогда как на насыпную плотность $\gamma_{ш}$ – только через содержание кл. 0,5–0 мм, а на степень разрушения кокса – только через содержание кл. 6–3 мм;

– влияние угля марки Ж проявляется на $\gamma_{ш}$ через содержание кл. 0,5–0 мм и кл. >6 мм; на Φ_k – только через кл. 0,5–0 мм; по M25 при 4,5%-ном содержании кл. 6–3 мм и 3,5%-ном – кл. >6 мм наблюдается максимум; на M10 – через содержание всех классов крупности угля этой марки; на K влияние реализуется через содержание кл. 6–3 мм;

– позитивное влияние угля марки К проявляется на всех показателях через содержание кл. 0,5–0 мм; содержание кл. 6–3 мм не влияет только на M25; кл. >6 мм – еще и на Φ_k ;

– влияние угля марки ОС на все показатели, кроме $\gamma_{ш}$, проявляется через содержание кл. >6 мм; на насыпную плотность шихты он влияет через содержание кл. 0,5–0 мм и кл. 6–3 мм; интересно, что на M10 и K влияние угля марки ОС проявляется через все классы крупности.

Обобщая полученные результаты, можно сделать вывод о том, что оптимизация процесса по всем рассматриваемым показателям требует, чтобы угли марок Г и Ж распределялись между классами крупности 0,5–0 мм и >6 мм, а угли марок К и ОС – во всех классах, но преимущественно в кл. 6–3 мм.

Заметим, что приведенные выше практические рекомендации имеют физический смысл только в рамках ограничений, задаваемых балансовыми соотношениями (1) и (2).

При более детальном анализе полученных уравнений сталкиваемся с весьма существенными трудностями, связанными со сложностью соответствующих поверхностей отклика (минимаксные поверхности в 13-тимерном пространстве).

Основной особенностью таких поверхностей является то, что одна и та же точка даже двухмерного пространства одновременно выступает в качестве минимума и максимума.

Ситуация осложняется многомерностью исследуемого пространства и, как следствие, множественностью искомых экстремумов даже в области, существенно зауженной ограничениями (1) и (2), а также

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = 26, \quad (11)$$

$$x_5 + x_6 + x_7 + x_8 = 18, \quad (12)$$

$$x_9 + x_{10} + x_{11} + x_{12} = 14. \quad (13)$$

Это означает, что даже в узкой области допустимых решений имеется более одного варианта степени измельчения углей разных технологических марок, обеспечивающих получение условных экстремумов [8].

В связи с этим, для оптимизации распределения углей разных марок в шихте по классам крупности предложили метод, основанный на симплексном планировании [9] компьютерного эксперимента.

Разработанная нами программа предусматривает поиск, решение путем отражения “худшей точки” и изменения размера симплекса.

Выводы. Обобщение полученных результатов [10, 11] показывает, что:

1. Изменение степени измельчения углей разных технологических групп при постоянных марочном и гранулометрическом составе шихты существенно влияет на все основные показатели процесса: на насыпную массу шихты, выход и прочность кокса по М25 и М10, его гранулометрический состав.

2. Указанное влияние практически всегда реализуется в виде произведений факторов (содержания в шихте углей разных марок и разной крупности), что говорит о системном, порождающем новое качество, характере их взаимодействия.

3. Особенностью исследуемой системы является многовариантность оптимального распределения углей разных марок по классам крупности. В натуральных значениях факторов это показано с помощью табл.7.

Таблица 7 – Варианты оптимального распределения различных марок по классам крупности

Факторы												Отклик				
0,5–0 мм				6,0–3,0 мм				> 6,0 мм				$\gamma_{ш}$	Φ_k	М25	М10	K
Г	Ж	К	ОС	Г	Ж	К	ОС	Г	Ж	К	ОС					
9,40	10,60	4,70	1,30	0,76	0,86	0,31	16,00	5,10	5,70	2,50	0,70	860	97,00	94,73	0,99	16,90
8,30	9,40	4,16	4,16	0,00	0,00	9,00	9,00	4,48	5,04	2,24	2,24	830	96,13	95,84	2,59	18,76

4. По-видимому, несмотря на множественность оптимального распределения углей по классам крупности, рассчитывать на его совпадение с реальным не приходится, так как, с одной стороны, угли всех технологических групп, поступающие на коксование, уже содержат значительное количество мелких классов (< 3 мм), а с другой – перевод 100% компонента ОС и соответствующего количества углей марки Гб в класс < 0,5 мм может привести к избыточному содержанию этого класса, а, следовательно, к самоотощению шихты.

Поэтому, можно лишь стремиться к лучшему распределению углей различных марок по классам крупности шихты. Этому может способствовать предварительный (до дробления) отсев мелких классов углей или (в зависимости от технологической схемы углеподготовки) шихты, не требующих измельчения. Такая операция дает возможность добиться более рационального распределения компонентов шихты по различным классам крупности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Braun N.V. Distribution of coal particles of different classes in a charge during use of mixer of new design / N.V.Braun, A.Y.Melnychuk, V.M.Gulyaev, V.A.Makhovsky // Coke and Chemistry. – New York: Allerton Press, Inc. – 1992. – № 1. – P.6-9.

2. Алексанова Л.П. Распределение компонентов вещественного состава углей по классам крупности /Л.П.Алексанова, Ю.С.Нагорный, В.М.Гуляев // Кокс и химия. – 1992. – № 10. – С.5-6.
3. Мельничук А.Ю. Исследование закономерностей термической деструкции углей широкой гаммы метаморфизма / А.Ю.Мельничук, Е.Р.Лемке, В.М.Гуляев, Л.И.Глущенко // Кокс и химия. – 1994. – № 6. – С.2-6.
4. Гуляев В.М. О влиянии степени измельчения компонентов угольной шихты на качество кокса / В.М.Гуляев, В.Д.Барский // Кокс и химия. – 2011. – № 2. – С.10-15.
5. Gulyaev V.M. Influence of the Size Distribution of Batch Components on Coke Quality / V.M.Gulyaev, V.D.Barskii // Coke and Chemistry. – New York: Allerton Press, Inc. – 2011. – V.54. – № 2. – P.40-46.
6. Барский В.Д. Практический математико-статистический анализ в коксохимии / В.Д.Барский, Л.А.Коган. – М.: Металлургия, 1975. – 185с.
7. Барский В.Д. Индуктивный регрессионный анализ / В.Д.Барский, А.П.Карпов. – Свердловск: Ср.-Ур. кн. изд-во, 1976. – 44с.
8. О рациональном распределении в шихте углей различных марок по крупности / В.И.Журавлев, А.И.Вирозуб, М.В.Лурье [и др.] // Кокс и химия. – 1983. – № 12. – С.4-6.
9. Горский В.Г. Симплексный метод планирования экстремальных экспериментов / В.Г.Горский, В.З.Бродский // Заводская лаборатория. – 1965. – № 7. – С.831-836.
10. Гуляев В.М. О влиянии степени измельчения компонентов угольной шихты на качество кокса / В.М.Гуляев, В.Д.Барский // Кокс и химия. – 2011. – № 2. – С.10-15.
11. Gulyaev V.M. Influence of the Size Distribution of Batch Components on Coke Quality / V.M.Gulyaev, V.D.Barsky // Coke and Chemistry. – New York: Allerton Press, Inc. – 2011. – V.54. – № 2. – P.40-46.

Поступила в редколлегию 20.04.2012.

УДК 661.474:541.13

АНТОНОВ В.Р.*, мол.наук.співр.
ВОЛОШИН М.Д., д.т.н., професор
ОВЧИННИКОВ А.І.*, к.т.н.

Дніпродзержинський державний технічний університет
*ПАТ «НВО «Йодобром»

ВПЛИВ КОНЦЕНТРАЦІЇ $K_2Cr_2O_7$ НА ПРОЦЕС ЕЛЕКТРОЛІЗУ ЙОДИД-ЙОДАТНОГО РОЗЧИНУ ПРИ ОДЕРЖАННІ КАЛІЮ ЙОДНУВАТОКИСЛОГО

Вступ. Ліквідація йоддефіцитних захворювань шляхом універсального йодування харчової солі є одним з найбільш ефективних способів. У більшості країн для йодування харчової солі використовують йодат калію. Застосування як йодовмісткої добавки йодату калію обумовлено його більшою хімічною і термічною стійкістю в порівнянні з йодидом калію і меншими вимогами до упаковки.

Для забезпечення населення України йодованою сіллю в ПАТ «НВО «Йодобром» була розроблена і промислово освоєна технологія одержання калію йоднуватокиислого (йодат калію) [1], який використовується в якості йодовмісткої добавки.

Основною стадією одержання калію йоднуватокиислого є процес електролізу йодид-йодатного розчину при температурі $65 \div 75^\circ C$, в результаті якого на аноді відбува-