

## Загальні питання технології збагачення

УДК 622.7:519.213

**В.Ф. ПОЖИДАЕВ**, д-р техн. наук

### ВЫВОД ФУНКЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПО КРУПНОСТИ ВО ВСЁМ ДИАПАЗОНЕ ЕЁ ИЗМЕНЕНИЯ

Исследование законов поведения частиц угля показывает их зависимость от диапазона размеров частицы. В практике углеобогащения считается, что гранулометрический состав адекватно описывается законом распределения Вейбулла, а поведение переизмельченных частиц можно не учитывать. Такой подход становится все более неточным, в связи со значительным переизмельчением угля в добыче и процессах переработки. Поскольку поведение мелких частиц угля подчиняется предельной теореме А. Н. Колмогорова [1], встает вопрос о нахождении границы действия двух законов, а также о возможном выводе обобщенного закона распределения [2].

Целью данной работы является вывод весовой функции распределения по крупности во всем диапазоне ее изменения, пригодной для проведения практических расчетов, для чего необходимо найти алгоритм восстановления ее параметров по результатам данных опробования.

Весовая функция распределения, связанная с логарифмическим нормальным распределением Колмогорова, имеет вид [2]:

$$F_1(x) = \Phi\left(\frac{1}{\sigma} \ln \frac{x}{\mu} - \sigma\right) = \Phi\left(\frac{\ln x - \ln \mu}{\sigma} - \sigma\right)$$

Запишем весовую функцию распределения Вейбулла в эквивалентной форме:

$$F_2 = 1 - \exp\left\{-\left(\frac{x}{l}\right)^r\right\}$$

Для нахождения области действия закона распределения Вейбулла проведем замену  $\left(\frac{x}{l}\right)^r = t$  и найдем производную функции  $F_2$ .

$$(F_2)'_x = e^{-t} \frac{r}{l} \left(\frac{x}{l}\right)^{r-1}$$

Найдем область, в которой . Для этого прологарифмируем первую

производную:

$$(F_2)''_x = F_2 \cdot \frac{r}{x} \left( \frac{r-1}{r} - \left( \frac{x}{l} \right)^r \right)$$

Однако,  $F_2 \geq 0 \quad \forall x \in (0, +\infty)$ , – по свойству функции распределения. Следовательно  $F_2$  не влияет на знак и при решении неравенства ее можно отбросить. Из вероятностного смысла функции распределения  $r > 0$ ,  $\alpha > 0$ ,  $l > 0$ ,  $x > 0$ . Отсюда  $\frac{r}{x} > 0$ . В итоге получим:

$$(F_2)''_x > 0 \Leftrightarrow \frac{r-1}{r} > \left( \frac{x}{l} \right)^r \Leftrightarrow \ln \frac{r-1}{r} > r \ln \frac{x}{l}, \quad \left( \frac{r-1}{r} \right)^{\frac{1}{r}} > \frac{x}{l}, \quad x < l \left( \frac{r-1}{r} \right)^{\frac{1}{r}}$$

Таким образом, условие выпуклости вниз функции  $F_2$  приводит к неравенству  $x < l \left( \frac{r-1}{r} \right)^{\frac{1}{r}}$ , которое определяет область его выполнения.

Поскольку функции  $F_1$  и  $F_2$  призваны описывать одну случайную величину – крупность – в разных областях ее изменения, естественно поставить вопрос о связи параметров, регулирующих характер поведения кривой распределения до точки их стыковки и после. Используем для этой цели

проведенную выше замену:  $\left( \frac{x}{l} \right)^r = t$ . Подставим  $\ln x$  в  $F_1$ .  
 $F_1(x) = \Phi \left( \frac{1}{r\sigma} \ln t + \frac{1}{\sigma} \ln \frac{l}{\mu} - \sigma \right)$ . Перейдем к новой переменной  $t$  и в законе распределения Вейбулла:  $F_2(x) = 1 - e^{-t}$ .

Обозначим через  $d$  значение  $x$ , которое разделяет области действия  $F_1$  и  $F_2$ . Тогда, подставив  $x = d$  найдем  $\left( \frac{d}{l} \right)^r = \tau$  – точку деления в новых координатах. Введем следующие обозначения:  $\frac{1}{r\sigma} = a_1$ ,  $\frac{1}{\sigma} \ln \frac{l}{\mu} - \sigma = a_0$  и запишем обобщенную функцию распределения:

## Загальні питання технології збагачення

$$F(t) = \begin{cases} F_1(t), 0 < t \leq \tau \\ F_2(t), \tau \leq t < +\infty \end{cases} = \begin{cases} \Phi(a_0 + a_1 \ln t), 0 < t \leq \tau \\ 1 - e^{-t}, \tau \leq t < +\infty \end{cases}$$

Очевидно, в точке  $t = \tau$  должно выполняться условие  $\lim_{t \rightarrow \tau^-} F_1(t) = \lim_{t \rightarrow \tau^+} F_2(t)$  (или для обобщенной функции  $\lim_{t \rightarrow \tau^-} F(t) = \lim_{t \rightarrow \tau^+} F(t)$ ) в силу непрерывности случайной величины  $x$  (а следовательно и  $t$ ):

$$\Phi(a_0 + a_1 \ln \tau) = 1 - e^{-\tau}, \quad a_0 + a_1 \ln \tau = \Phi^{-1}(1 - e^{-\tau})$$

Если в некоторой точке  $x = d$  плотность распределения  $F'(x)$  терпит разрыв, это означает наличие в общей непрерывной совокупности изменения размеров такого класса частиц, равных  $d$ , весовая доля которых равна величине скачка функции плотности. Исходная совокупность тем самым разбивается на две статистически однородные совокупности, сама при этом не являясь статистически однородной. Поскольку мы имеем дело с однородной совокупностью, потребуем также равенство первых производных в точке  $t = \tau$  (условие однородности)

Отсюда найдем условия определения параметров  $a_0, a_1, \tau$ :

$$\begin{cases} a_0 + a_1 \ln \tau = \Phi^{-1}(1 - e^{-\tau}) \\ \ln \frac{a_1}{\sqrt{2\pi}} - \ln \tau - \frac{1}{2}(a_0 + a_1 \ln \tau)^2 = -\tau \\ a_0 + a_1 \ln \tau = a_1 \tau - a_1 \end{cases},$$

Вычтем из первого уравнения системы третье:  $a_1 = \frac{\Phi^{-1}(1 - e^{-\tau})}{\tau - 1}$ , если  $\tau \neq 1$  или  $d \neq 1$ .

Опуская выкладки, можно утверждать, что  $\tau \neq 1$ . Подставим  $a_1$  в первое уравнение:

$$a_0 + \frac{\Phi^{-1}(1 - e^{-\tau})}{\tau - 1} \ln \tau = \Phi^{-1}(1 - e^{-\tau}),$$

$$a_0 = \Phi^{-1}(1 - e^{-\tau}) - \frac{\Phi^{-1}(1 - e^{-\tau})}{\tau - 1} \ln \tau = \Phi^{-1}(1 - e^{-\tau}) \left( 1 - \frac{\ln \tau}{\tau - 1} \right).$$

Таким образом, получено выражение для  $a_0$  и  $a_1$ :

## Загальні питання технології збагачення

$$\begin{cases} a_0 = \Phi^{-1}\left(1 - e^{-\tau}\right) \left(1 - \frac{\ln \tau}{\tau - 1}\right) \\ a_1 = \frac{\Phi^{-1}\left(1 - e^{-\tau}\right)}{\tau - 1} \end{cases}$$

$$\ln \frac{\Phi^{-1}\left(1 - e^{-\tau}\right)}{(\tau - 1)\sqrt{2\pi}} - \ln \tau - \frac{1}{2} \left(\Phi^{-1}\left(1 - e^{-\tau}\right)\right)^2 + \tau = 0$$

Найдем уравнение для нахождения  $\tau$ :

Решив численно это уравнение и, подставив найденное значение  $\tau$ , получим следующие значения параметров стандартного обобщенного закона распределения с точностью до седьмого знака:

$$\{\tau = 1,820645; a_1 = 1,202216; a_0 = 0,266236\}$$

Точка перегиба существует и находится до точки  $\tau$ . Отсюда  $(F_1)'' < 0$ .

Найдем связь между параметрами  $\alpha$  и  $l$  в различных записях закона распределения Вейбулла:

$$\begin{aligned} 1 - \exp\{\alpha x^r\} &= 1 - \exp\left\{\left(\frac{x}{l}\right)^r\right\}, & \exp\{\alpha x^r\} &= \exp\left\{\left(\frac{x}{l}\right)^r\right\}, \\ \ln(\exp\{\alpha x^r\}) &= \ln\left(\exp\left\{\left(\frac{x}{l}\right)^r\right\}\right), & \alpha x^r &= \left(\frac{x}{l}\right)^r, & \ln(\alpha x^r) &= \ln\left(\frac{x}{l}\right)^r, \\ \ln \alpha + r \ln x &= r \ln x - r \ln l, & \ln \alpha &= -r \ln l \Rightarrow \alpha = l^{-r}, & l &= \alpha^{-\frac{1}{r}}. \end{aligned}$$

Таким образом, мы имеем шесть параметров  $\alpha$ ,  $l$ ,  $r$ ,  $\sigma$ ,  $\mu$ ,  $d$  обобщенного закона распределения и три уравнения, связывающие эти параметры. Учитывая связь между  $\alpha$  и  $l$  имеем лишь два независимых параметра. Представляет интерес нахождение 4 параметров при заданных 2.

Пусть заданы  $\alpha$  и  $r$  (либо  $\alpha$  и  $l$ ). Найдем  $\sigma$ ,  $\mu$ ,  $d$  с учетом функциональной связи на границе действия двух альтернативных законов

$$\sigma = \frac{1}{a_1 r}, \quad d = l \tau^{\frac{1}{r}}, \quad \mu = l e^{-\sigma(a_0 + \sigma)}$$

Таким образом:  $\alpha, r, l \Rightarrow \sigma = \frac{1}{a_1 r}, \quad d = l \tau^{\frac{1}{r}}, \quad \mu = l e^{-\sigma(a_0 + \sigma)}$

Пусть заданы  $\sigma$  и  $\mu$ . Тогда:  $r = \frac{1}{a_1 \sigma}$

## Загальні питання технології збагачення

Для нахождения параметров найденного обобщенного закона распределения воспользуемся методом вероятностной бумаги, предложенным Вейбуллом [3]. Идея метода состоит в следующем: находится такое преобразование координат при переходе к которому функция распределения преобразуется в прямую. При этом параметры полученной прямой линии однозначно связаны с неизвестными параметрами исходного распределения, подлежащими определению.

Для нахождения преобразования координат найдем функцию, обратную к обобщенной функции распределения.

$$t = F^{-1}(F) = \begin{cases} F_1^{-1}(F), & F < F(\tau) \\ F_2^{-1}(F), & F > F(\tau) \end{cases}, \quad t = \begin{cases} \exp\left(\frac{\Phi^{-1}(F) - a_0}{a_1}\right), & F \leq F(\tau) \\ \ln \frac{1}{1-F}, & F \geq F(\tau) \end{cases}$$

Функция  $\ln t = \ln F^{-1}(F)$  линейна относительно  $\ln x$ . Следовательно, искомым преобразованием координат будет:

$$\varphi = \ln x, \quad \psi = \begin{cases} \frac{\Phi^{-1}(F) - a_0}{a_1}, & F \leq F(\tau) \\ \ln \ln \frac{1}{1-F}, & F \geq F(\tau) \end{cases}$$

В координатах  $(\varphi, \psi)$ , которые однозначно вычисляются по исходным координатам  $(x, F)$  независимо от того, какие граничные классы используются: в области седиментации или из области возможных рассевов на ситах, находятся эмпирические значения параметров линейной регрессии. Тем самым определяются два неизвестных параметра распределения, по которым восстанавливаются остальные.

Связь между законами Вейбулла и логарифмически нормальным отмечена в [3]. Так как

$$\inf_{p, \sigma} \sup_{a, c} \left| F_w(t, p, \sigma, 0) - \Phi\left(\frac{\ln t - a}{c}\right) \right| = \inf_{a, c} \sup_t \left| F_w(t, 1, 1, 0) - \Phi\left(\frac{\ln t - a}{c}\right) \right| = 0,038$$

то принципиально возможным является описание закона распределения размеров частиц только одним из них во всём диапазоне изменения крупности. Но это нецелесообразно, хотя становятся ясными попытки такого подхода [4].

Таким образом, выведена весовая функция распределения по крупности во

всём диапазоне её изменения

$$F(t) = \begin{cases} \Phi(a_0 + a_1 \ln t), & 0 < t \leq \tau \\ 1 - e^{-t}, & \tau \leq t < +\infty \end{cases}$$

Представлен алгоритм восстановления параметров по минимальному числу экспериментальных данных. Становится возможной следующая задача – построение поверхности обогатимости по классам крупности.

### Список литература

1. Колмогоров А.Н. О логарифмическом нормальном законе распределения размеров частиц при дроблении // ДАН СССР. Новая Серия. – 1941. – Т.31. – №2. – С.99–101.
2. Гарус В.К., Грачев О.В., Пожидаев В.Ф., Полулях О.Д. Формализация результатов разделительных процессов в углеобогащении: Монография. – Луганск: изд. ООО "НВФ"Стек", 2003. – 176 с.
3. Математическая Энциклопедия. – М., „Советская Энциклопедия”, – 1977 г. – Т. 1. – С. 614.
4. Хесин А.М., Федорченко В.И., Ямпольский М.Н. Закономерности распределения каменных углей и антрацитов по классам крупности. – М.: Недра, 1965. – Т.4. – 270 с.

© Пожидаев В.Ф., 2005

*Надійшла до редколегії  
Рекомендовано до публікації*

УДК

**И.Д. ДРОЗДНИК**

### **К ВОПРОСУ ОБЕСПЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА КОКСУЮЩИМИСЯ УГЛЯМИ ТРЕБУЕМОГО КАЧЕСТВА**

*Новые требования доменного производства к качеству  
металлургического кокса*

В настоящее время происходят существенные изменения в оценке требований, предъявляемых к свойствам металлургического кокса.

17

**Збагачення корисних копалин, 2005. – Вип. 23(64)**

## Загальні питання технології збагачення

Если раньше к основным критериям качества относили гранулометрический состав, прочность, зольность и сернистость кокса, то в настоящее время все больше внимание уделяется его термомеханическим свойствам и реакционной способности.

Эти показатели характеризуют свойства кокса в горячем состоянии и зависят в основном от технологических свойств коксующих углей и в определенной степени от технологических режимов коксования.

Полученные в последнее время сопоставительные данные исследований кокса различных стран, а также и ряда украинских заводов, показали, что наш кокс занимает последние места в рейтинговой таблице основных стран-производителей и экспортеров этого металлургического сырья.

Если за эталон принят австралийский кокс, имеющий показатель термомеханической прочности (CSR) порядка 70%, то кокс наших заводов имеет этот показатель в пределах 18–38%.

В этой связи требуют анализа причины, послужившие основанием для коренного пересмотра доменщиками своего отношения к отечественному металлургическому коксу, десятилетие назад бывшему одним из лучших в мире.

Как уже указывалось, основополагающим в этом явилось резкое ухудшение угольной сырьевой базы коксования.

### *Анализ состояния и причины ухудшения угольной сырьевой базы коксования*

Сопоставляя работу угольной промышленности по обеспечению коксующимися углями за последние 10 лет, следует констатировать ее существенное ухудшение по всем параметрам.

Так, зольность рядовых углей, поставляемых на углефабрику Авдеевского КХЗ, поднялась с 26,7 до 38,0% или на 11,3%, что привело к снижению выхода концентрата с 75 до 60%.

Качество обогащенных углей, поставляемых на наши заводы, ухудшилось по всем параметрам: зольность повысилась до 8,7% или на 1,2%, уровень выхода летучих веществ в шихте достиг 32% при оптимальном 28–29%; влага поставляемых концентратов составила 10,5%.

Особое беспокойство вызывает работа обогатительных фабрик и качество поставляемых ими концентратов.

Десять лет тому назад концентрат для коксования вырабатывала 21 обогатительная фабрика с полным циклом обогащения (классификация, отсадка, флотация). Общий объем переработки рядовых углей этими фабриками составлял 57 млн. тонн в год.

В настоящее время практически это же количество фабрик перерабатывает 35 млн. тонн рядовых углей.

## Загальні питання технології збагачення

В настоящее время идет приватизация обогатительных фабрик, собственники которых хотели бы видеть их рентабельными и процветающими.

Добыча же коксующихся углей снизилась на 22 млн. т (почти на 40%) и загрузить такое количество фабрик на их производственную мощность просто физически невозможно, что и определяет остановку ряда фабрик в ближайшей перспективе.

Желание загрузить обогатительные фабрики любой ценой приводит к обогащению на одной фабрике углей 2–3-х марок. Это в свою очередь приводит к взаимозасорению товарного концентрата разными марками, снижению или даже потере технологических свойств со всеми вытекающими отсюда последствиями при коксовании.

Обогащение углей нескольких марок проводят следующие обогатительные фабрики:

ЦОФ "Дзержинская" – марки Г, Ж, К

ЦОФ "Узловская" – К, ОС, Т

ЦОФ "Колосниковская" – К, ОС

ЦОФ "Калининская" – Ж, К

ЦОФ "Дуванская" – Ж, К

ЦОФ "Криворожская" – Ж, ОС

Таким образом, из 19 обогатительных фабрик, официально зарегистрированных в качестве поставщиков угольной продукции для коксования, 6 предприятий перерабатывают несколько марок углей. При существующем регламенте работы фабрик выпуск чистого концентрата отдельных марок технически невозможен, что нужно твердо всем осознать.

Хотелось бы отметить и то, что отдельные обогатительные фабрики, обогащающие угли одной марки, резко снизили контроль за качеством выпускаемой продукции. Следует в их числе, к сожалению, отметить ЦОФ "Киевская", обогащающую жирные угли шахты им. Засядько. За последние полгода имелись многочисленные случаи поставок угля зольностью 10–13% и влагой 13–14%. Как это надо понимать, что фабрика долгие годы являвшаяся флагманом обогащения, скатилась до заурадного предприятия, выпускающего бракованную продукцию и фальсифицирующую показатели качества?

Большие нарекания вызывает продукция "Дзержинской" и "Колосниковской" обогатительных фабрик.

Объединение "Луганскуглерепереработка" несколько лет вообще не представляло на экспертизу и согласование норм качества технические условия на поставляемую товарную продукцию входящих в объединение обогатительных фабрик.

На коксование поставляли продукцию Черкасская, Славяносербская и Луганская обогатительные фабрики, сырьевая база которых ничего общего не имеет с сырьем для коксования. Эти фабрики обогащали непригодные для



## Загальні питання технології збагачення

коксовання угли марок Д, ДГ и Г, технические условия на продукцию которых Укркоксом и УХИНОм не согласовывались.

Анализ концентрата ЦОФ "Криворожская", отгруженного как марка ОС, показал, что имеет место фальсификация марочной принадлежности, т.к. он являлся смесью углей марок Г ( $V^{daf}=36\%$ ,  $y=16$  мм) и Т ( $V^{daf}=8\%$ ,  $y=0$  мм).

Вызывает много нареканий товарная продукция ЦОФ "Узловская" и "Калининская", выпускающих концентраты практически всех марок.

УХИН совместно с ЦОФ "Калининская" и руководством компании-собственника приложили много усилий по улучшению качества выпускаемой ЦОФ "Калининская" продукции, вплоть до разработки технологического регламента работы на такой сложной сырьевой базе. Нарекания на качество концентрата фабрики несколько снизились, но взаимозасоряемость концентратов углями разных марок осталась достаточно высокой.

Товарный концентрат ЦОФ "Узловская" любой марки представляет смесь марок и с точки зрения сырья для коксования наименее технологичен, что подтверждается всеми заводами, использующими продукцию фабрики.

Есть еще одна проблема, о которой никто не говорит – это использование в сырьевой базе коксования углей Западного Донбасса объединения "Павлоградуголь".

Известно, что малометаморфизованные угли этого района как сырье для коксования весьма специфичны, что определило перечень шахт, угли которых могут использоваться для этих целей. Это шахты: "Юбилейная", "Степная", "Самарская", "Западно-Донбасская", "им. Сташкова". Общее содержание их углей в шихтах заводов не должно превышать 10 %.

Если раньше западодонбасские угли обогащались на своей ЦОФ "Павлоградская", имеющей технологическую схему их обогащения, то в настоящее время широкое распространение получило их совместное обогащение на фабриках Донецкой области – "Добропольской", "Октябрьской" и "Комсомольской".

Имея весьма размокаемую породу и слабую флотуруемость, эти угли ухудшают водно-шламовую схему фабрик, увеличивают зольность концентрата, повышают потери угля с отходами. Таким образом, очередная погоня за увеличением загрузки фабрик за счет этих углей для потребителей оборачивается ухудшением технологических свойств газовых углей, являющихся важным компонентом шихты коксохимических заводов.

Делается ли хоть что-нибудь для улучшения качества товарной продукции фабрик?

Начинает уделять серьезное внимание этим вопросам ГХК "Донбассуголеобогащение". На шести ее фабриках по инициативе компании установлен выборочный ежемесячный контроль качества товарной продукции

## Загальні питання технології збагачення

со стороны УХИНа, что, по отзывам коксохимических заводов, уже дает свои результаты.

Одним из важных моментов повышения качества выпускаемой угольной продукции является стабильная, научно обоснованная и ежеквартально планируемая сырьевая база обогатительных фабрик.

Такая сырьевая база должна обеспечивать максимально возможный выход концентрата, постоянство его технологических свойств.

Система планируемой загрузки фабрик просуществовала много лет и являлась гарантией постоянства качества.

Отход от этого правила, сумбурность поставок и произвол в формировании сырьевой базы фабрик, приводят к ухудшению качества и стабильности технологических свойств концентратов.

Сегодня фактические владельцы угля используют его уже на своих же коксохимических заводах, а кокс – на принадлежащих им (или зависящих о них) металлургических комбинатах. Думается, что серьезность планирования сырьевой базы обогатительных фабрик будет осознана и войдет в практику, т.к. проведенный нами укрупненный экономический расчет последствий неправильного формирования сырьевых баз обогатительных фабрик показал, что экономия на ухудшенном качестве 1 т концентрата составляет в среднем 39 коп., а на 1 тонне проката ухудшенного качества цифра минимальных потерь составляет 3,6 грн, а максимальных – 10,8 грн.

В последнее время, в условиях резкого снижения объемов добычи углей, реструктуризации угольной промышленности и постоянной структурной реорганизации руководства угольной отрасли вопросы качества поставляемого угольными предприятиями товара практически выпали из поля зрения как Минтопэнерго, так и его угольного департамента.

Следует прямо сказать, что служба качества в структуре департамента практически ликвидирована.

Принципиальным является еще один вопрос – это отмена или изменение ряда основополагающих стандартов, регламентирующих состав и технологические свойства углей, определяющие их марочную принадлежность.

Так, был отмене ГОСТ 537-85 "Угли Донецкого бассейна для коксования. Технические требования", регламентирующий предельные показатели качества рядовых и обогащенных углей, поставляемых для коксования. В пределах норм этого ГОСТа составлялись все технические условия предприятий, отгружающих угли для коксования. С отменой этого документа предельные значения норм влаги, золы и серы в ТУ предприятий увеличились почти наполовину, что не привело, как вы понимаете, к повышению качества угольной сырьевой базы коксования.

Вторым существенным моментом следует считать замену бывшего общесоюзного стандарта по классификации углей (ГОСТ 25543-88) на

## Загальні питання технології збагачення

національний стандарт України ДСТУ 3472-96.

При разработке этого стандарта было очень много споров между угольщиками и коксохимиками о границах значений классификационных параметров марок украинских углей. В итоге мы имеем классификацию углей, не отображающую граничные значения технологических свойств практически в каждой марке. Так, к жирным углям отнесен уголь с толщиной пластического слоя от 17 до 38 мм с летучими от 28 до 36%. Коксовые угли имеют нижнюю границу спекаемости 13 мм и показатель отражения витринита в пределах 1,21–1,60%. Сделано это для того, чтобы к этой марке отнести уголь крупной шахты "Красноармейская Западная № 1".

Сегодня специалистам-коксохимикам ясно, что при всей своей привлекательности и наличии многих весьма ценных технологических свойств, уголь этой шахты нельзя относить к марке К, в которой его удельный вес составляет 54 %. Уникальность свойств этого угля требует определения его специального места в классификации углей Украины, а сама классификация требует существенных уточнений и скорейшей переработки.

Совершенно устарел и не способствует улучшению качества ГОСТ 1137-64 "Угли бурые, каменные, антрацит, горючие сланцы и брикеты. Правила приемки по качеству".

Не обоснована допустимая погрешность опробования при определении зольности и массовой доли общей влаги, принятая по ГОСТ 10742-71 равной 10% относительных. Это значит, что для концентратов коксующихся углей при средней зольности 8% результат анализа может находиться в пределах 7,2–8,8%.

Совершенно устарели и не способствуют улучшению качества угольной продукции известные вам Инструкции о порядке приемки продукции производственно-технического назначения и товаров народного потребления по качеству и количеству № П-6 и № П-7, выпущенные в бывшем Советском Союзе еще 25.04.66 г.

Подводя итоги анализа состояния и причин существенного ухудшения качества поставляемой для коксования угольной продукции, следует обратить внимание на необходимость перехода отношений угольщиков и коксохимиков в корпоративные в части отстаивания позиций отечественного кокса, произведенного на базе украинских углей, металлургическими предприятиями страны. Остановка шахт, обогатительных фабрик и коксохимических заводов может привести к серьезным неблагоприятным экономическим и социальным последствиям. В условиях рыночной экономики альтернативой этому может стать только реальное улучшение качества поставляемых для коксования углей и существенное улучшение физико-химических и термомеханических свойств металлургического кокса, производимого украинскими заводами.

УДК 622.794

**Ю.Л. ПАПУШИН**, канд. техн. наук,

**Е.В. РЯБУШЕНКО**

(Україна, Донецьк, Донецький національний технічний університет)

## **ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ДОНБАССА**

Напряженный топливный баланс в Украине и неблагоприятная экологическая обстановка в Донбассе требуют разработки эффективных способов энергетического использования в топливном комплексе страны мелкозернистых высокобалластных углесодержащих продуктов из отстойников шахт и илонакопителей обогатительных фабрик. Только в илонакопителях Донбасса ежегодно складывается более 10 млн. т тонкозернистых шламов с содержанием органической массы 25–40%. Всего же в указанных накопителях находится свыше

120 млн. т флотационных отходов и запасы их непрерывно растут. Складирование их сопровождается отторжением значительных площадей (свыше 1500 га) и экологической напряженностью в регионе.

Ряд илонакопителей вследствие относительно низкой зольности отходов, по существу, являются техногенными месторождениями, из которых технически возможно получать энергетическое топливо, а в некоторых случаях и концентрат для коксования.

Качественные показатели шламов, хранящихся в илонакопителях, колеблются в широких пределах по глубине и площади распределения, что затрудняет переработку сырья. Кроме того, каждый илонакопитель в зависимости от марки угольной фракции, ее свойств требует индивидуального подхода при разработке технологии его использования.

Существующая практика извлечения и переработки отходов флотации сводится в большинстве случаев к простейшей операции – мокрая классификация исходного шлама по крупности (0,125–0,2) мм и реализация надситного продукта после естественной сушки. При этом сброс илистой фракции осуществляется, как правило, в разрабатываемый илонакопитель.

## Загальні питання технології збагачення

Подобная "технология" приводит к потерям горючей фракции с тонкими частицами и снижает вероятность эффективной разработки данного илонакопителя в будущем.

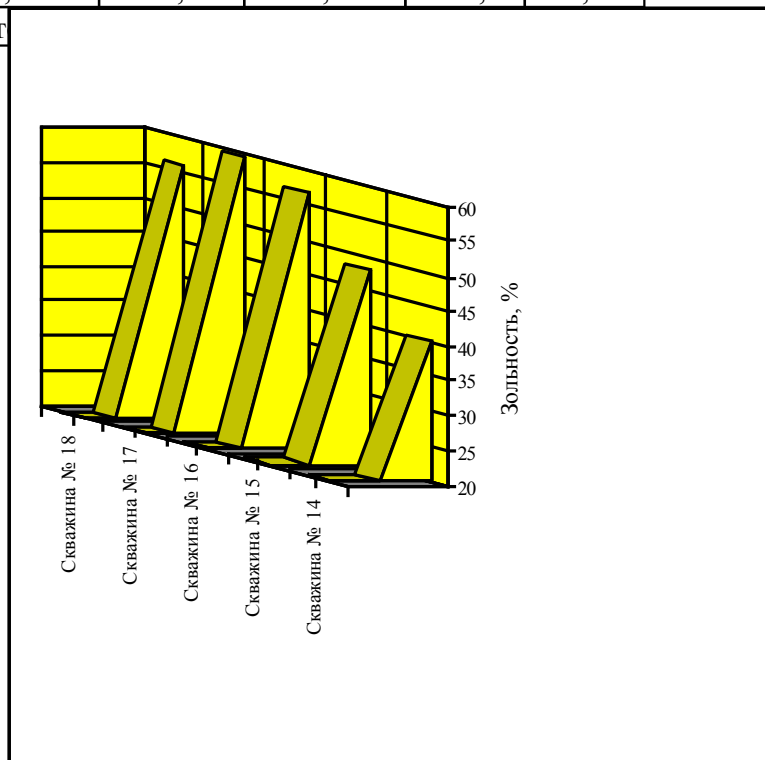
В данной работе исследовался илонакопитель Ясиновского КХЗ. По разработанной сетке было произведено зондирование илонакопителя по свободной от воды поверхности на глубину до 8 м. Общее количество скважин составило 20 шт.

На основании результатов гранулометрического анализа проб всех скважин было выяснено, что зольность шлама по скважинам различается в значительной мере от 40 до 65% (рис. 1). Большое значение для возможности использования шламов имеет содержание в нем класса крупнее 0,1 мм. Данный показатель предопределяет возможность обогащения шлама простым гравитационным методом.

В табл. 1 приведен средний гранулометрический состав зоны, ограниченной скважинами № 12–18.

Таблица 1

| Крупность, мм | Выход, % | Зольность, % | Выход сверху, % |           |
|---------------|----------|--------------|-----------------|-----------|
|               |          |              | $\gamma$ , %    | $A^d$ , % |
| > 1,0         | 3,3      | 5,97         | 3,30            | 5,97      |
| 1–0,5         | 9,1      | 14,05        | 12,35           | 11,89     |
| 0,5–0,3       | 12,2     | 25,61        | 24,55           | 18,71     |
| 0,3–0,1       | 31,2     | 42,63        | 55,75           | 32,09     |
| 0,1–0,044     | 20,2     | 49,98        | 76,00           | 36,86     |
| < 0,044       | 24,0     | 67,05        | 100,0           | 44,10     |
| Ит            |          |              |                 |           |



## Загальні питання технології збагачення

Рис. 1. Распределение зольности шлама по скважинам № 14–18

Усредненный фракционный анализ класса более 0,1 мм рассматриваемой зоны (табл. 1) свидетельствует о возможности обогащения его на простых гравитационных аппаратах, например винтовых сепараторах.

Технологические особенности обогащения данного сырья на этих аппаратах изучались путем физического и математического моделирования процесса.

В лабораторных условиях был реализован рототабельный композиционный факторный эксперимент второго порядка.

Входными факторами приняты: производительность сепаратора,  $Q$ ; содержание твердого в питании,  $T$ ; содержание в исходном классе  $<0,1$  мм,  $\gamma$ . В качестве выходных параметров служили качественные показатели продуктов обогащения – зольность концентрата ( $A_{\text{кт}}$ ) и зольность отходов ( $A_{\text{отх}}$ ).

Обработка результатов с помощью программы "Statgrafics 3.0 Plus" при доверительной вероятности  $P = 95\%$  позволила получить следующие математические модели (в стандартизованном масштабе):

$$A_{\text{отх}} = 66.33 - 1.55 \cdot T - 2.41 \cdot Q - 4.40 \cdot \gamma + 0.27 \cdot T^2 - 0.12 \cdot T \cdot Q - 0.34 \cdot T \cdot \gamma + 0.81 \cdot Q^2 - 0.41 \cdot Q \cdot \gamma - 0.34 \cdot \gamma^2 \quad (1)$$

$$A_{\text{кон}} = 9.25 + 0.87 \cdot T + 1.01 \cdot Q + 1.16 \cdot \gamma + 0.21 \cdot T^2 - 0.39 \cdot T \cdot Q - 0.59 \cdot T \cdot \gamma + 0.79 \cdot Q^2 + 0.75 \cdot Q \cdot \gamma \quad (2)$$

Статистически незначимые коэффициенты модели опущены. Адекватность моделей доказана с помощью критерия Фишера. ( $F_{\text{таб}} > F_{\text{рас}}$ ).

Среднеквадратическая ошибка эксперимента составила  $S_{\text{хв}} = 1,55\%$ ,  $S_{\text{кон}} = 0,24\%$ .

Анализ моделей показал, что наиболее существенным фактором процесса является содержание тонких классов в исходном питании. С повышением данного параметра с одной стороны падает зольность отходов, т.е. увеличиваются потери угольной фракции, с другой – растет зольность концентрата.

Содержание твердого в питании оказывает наименьшее влияние на процесс. Для промышленного применения технологии можно рекомендовать значение данного фактора: 450–500 г/л.

Нагрузку на сепаратор следует поддерживать равной ее паспортному значению.

Найденные зависимости иллюстрируются (рисунок) компьютерным изображением частных сечений поверхностей отклика, построенные в соответствии с выражениями (1 и 2).

## Загальні питання технології збагачення

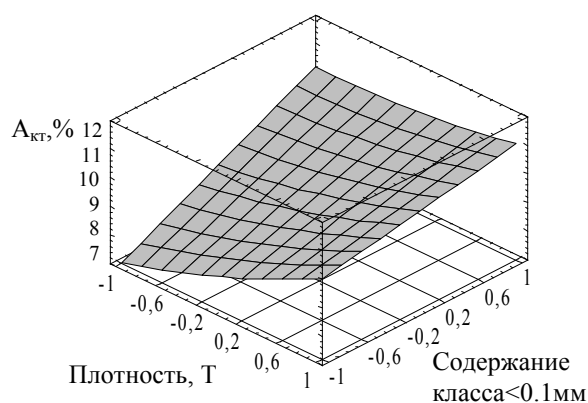
Анализ моделей показал, что наиболее существенным фактором процесса является содержание тонких классов в исходном питании. С повышением данного параметра с одной стороны падает зольность отходов, т.е. увеличиваются потери угольной фракции, с другой – растет зольность концентрата.

Содержание твердого в питании оказывает наименьшее влияние на процесс. Для промышленного применения технологии можно рекомендовать значение данного фактора: 450–500 г/л.

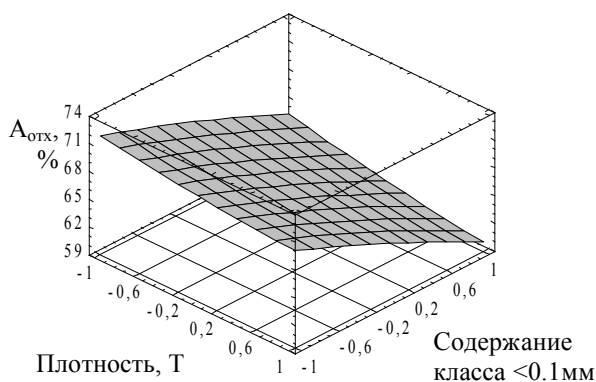
Нагрузку на сепаратор следует поддерживать равной ее паспортному значению.

Таблица 2

| Плотность<br>Разделения<br>т/м <sup>3</sup> | Выход,<br>% | Золь-нос<br>ть, % | Выход сверху,<br>% |                    |
|---|-------------|-------------------|--------------------|--------------------|
|   |             |                   | γ, %               | A <sup>d</sup> , % |
| <1,4  | 45,9        | 3,68              | 45,9               | 3,68               |
| 1,4–1,6                                     | 14,4        | 7,16              | 60,3               | 4,51               |
| 1,6–1,8                                     | 7,2         | 35,47             | 67,5               | 7,81               |
| > 1,8                                       | 32,5        | 79,68             | 100,0              | 31,17              |
| Итого                                       | 100,0       | 31,17             |                    |                    |



**а**



**б**

Рис. 2. Частные сечения поверхности отклика зольности концентрата (а) и отходов (б) по осям плотность питания – содержание класса < 0,1 мм

Таким образом, при разработке схемы обогащения материала илонакопителя (рис. 3) следует предусмотреть предварительную операцию – удаление тонких классов из исходного сырья.

## Загальні питання технології збагачення

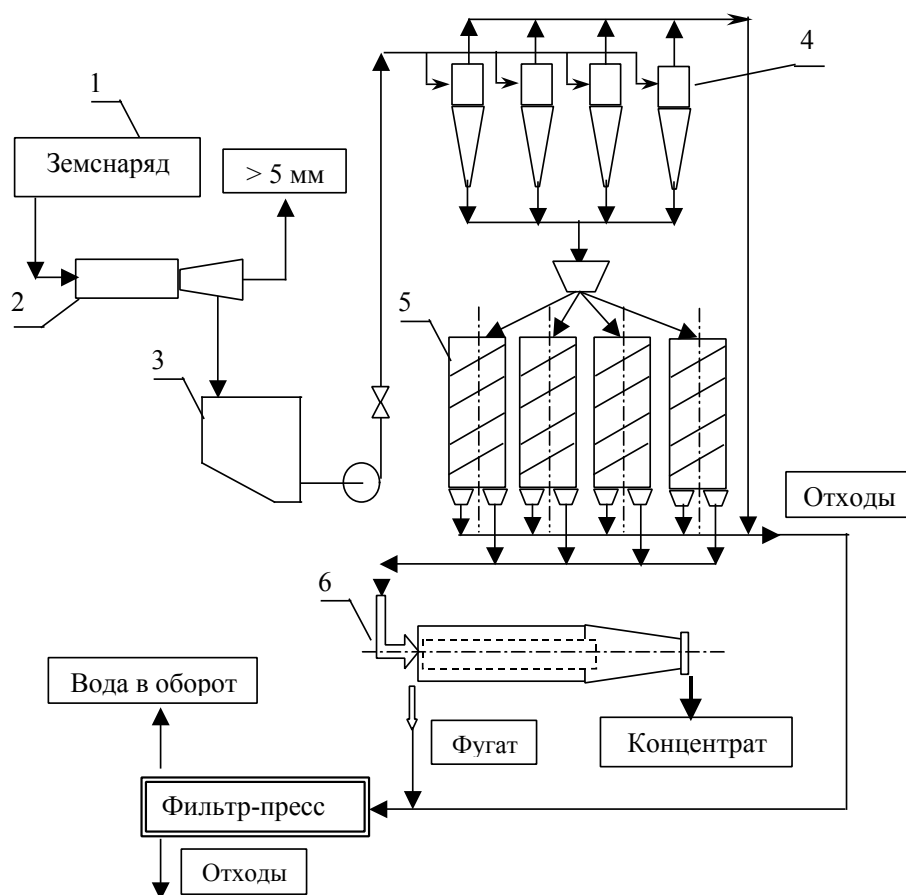


Рис. 3. Схема оборудования обогащения шламов илонакопителя:  
1 – земснаряд; 2 скруббер–бутара; 3 – зумпф с насосом;  
4 – батарея гидроциклонов; 5 – блок винтовых сепараторов;  
6 – осадительная центрифуга

С целью создания благоприятных условий для последующей рекультивации отрабатываемого илонакопителя в технологической схеме необходима также операция глубокого обезвоживания выделяемых тонких классов и получаемых при обогащении отходов, например, на фильтр-прессах. Это позволит осуществить складирование обезвоженных высокозольных отходов в породных отвалах.

Технологический расчет схемы показал, что ее внедрение позволит выделить из шламов илонакопителя до 25% коксового концентрата зольностью до 10% и более 12% энергетического концентрата зольностью до 25–30%.

### Список литературы

1. Порядок учета, разработки, переработки и использования ресурсов вторичного топлива из отходов обогатительных фабрик./Руководящий нормативный документ Министерства угольной промышленности Украины. – "УкрНИИУглеобогатение, 1999.
2. Полулях А.Д. Технологические регламенты углеобогатительных фабрик. –



## **Загальні питання технології збагачення**

Днепропетровск: Национальный горный университет. 2002. – 854 с.

3. Подготовка минерального сырья к обогащению и переработке/**В.И. Ревнивцев, Е.И. Азбель, Е.Г. Баранов и др.** Под ред. **В.И. Ревнивцева.** - М.:Недра, 1987 – 307 с.

© Папушин Ю.Л., Рябушенко Е.В., 2005

*Надійшла до редколегії 25.04.2005 р.  
Рекомендовано до публікації д.т.н. П.І. Піловим*