

**Е.И. НАЗИМКО**, д-р техн. наук,

**Н.А. ЗВЯГИНЦЕВА, В.Г. НАУМЕНКО, Е.И. ИЛЮХИНА**

(Украина, Донецк, Донецкий национальный технический университет)

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ТЕХНОЛОГИЮ ОБОГАЩЕНИЯ КОКСУЮЩИХСЯ УГЛЕЙ**

*Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.* В последние годы коксохимические предприятия Украины столкнулись с проблемой недостатка качественного сырья и импорта кокса. Причиной снижения качества кокса является резкое ухудшение качества угольных концентратов, поступающих на коксование. Часть шихты для коксования, представленная отечественными углями, характеризуется повышенной влажностью – 10,5%, зольностью 8,2...8,7% и высокой сернистостью 1,8...2% [1, 2]. В связи с этим повышение качества обогащенных углей является актуальной задачей.

*Анализ исследований и публикаций.* Доля украинских шахт, добывающих угли коксовых марок на начало 2010 г. составляла около 47%, в том числе марки К – 11,2%. По данным Минуглепрома в этот период было добыто 6,5 млн. т коксующихся углей, в том числе углей марки К около 2 млн. т. Зольность рядового угля колеблется в пределах от 35 до 55%. Одним из крупных поставщиков углей этой марки является шахта "Красноармейская Западная №1", ее доля составляет около 57% от общего объема угля марки К, добываемого в Донецком регионе. Одной из особенностей работы шахты является разработка нескольких лав, угли которых значительно различаются по свойствам, имеющим значение для технологии обогащения.

*Постановка задачи.* Целью настоящей работы является исследование параметров рядовых углей, определяющих выбор технологии обогащения и качественные показатели концентратов.

*Изложение материала и результаты.* Анализ фракционного состава каждой лавы показал, что крупный машинный класс имеет в основном легкую и среднюю обогатимость, только в трех лавах она трудная и очень трудная. Зольность этого класса в большинстве лав превышает 30%. В мелком классе преобладают угли трудной и очень трудной обогатимости, зольность колеблется от 20 до 40%. С учетом норм технологического проектирования [3-5] были выполнены расчеты полных технологических схем с глубиной обогащения до 0 мм для каждой лавы в отдельности. Технология обогащения проектировалась в зависимости от категории обогатимости крупного и мелкого машинного класса с учетом их количеств и дополнительного шламообразования, расчет показателей обогащения шламовых продуктов выполнялся на основании уравнений материального баланса. Ожидаемые балансы продуктов по лавам приведены в таблице 1.

## Загальні питання технології збагачення

Таблиця 1

Продукт	Выход, %	Зольность, %	Примечания
Лава 1			
Концентрат	84,65	8,37	Обогатимость 5,3, зольность тяжелых фракций 85%, выход класса +13 мм 53%
Отходы	15,31	80,47	
Итого	100	19,41	
Лава 2			
Концентрат	82,32	4,79	Обогатимость легкая, содержание породы в классе +13 мм 52% с зольностью 92%
Отходы	17,68	85,48	
Итого	100	19,06	
Лава 3			
Концентрат	67,73	8,47	Обогатимость трудная, содержание сростков 8%. Зольность тяжелых фракций 75...83%, количество класса +13 мм 50%
Промпродукт	7,24	43,82	
Отходы	25,04	76,30	
Итого	100	28,01	
Лава 4			
Концентрат	80,08	8,04	Обогатимость средняя, содержание сростков 5,6%. зольность тяжелых фракций 79...85%
Промпродукт	4,87	44,01	
Отходы	15,06	77,65	
Итого	100	20,27	
Лава 5			
Концентрат	43,24	8,99	Обогатимость очень трудная, содержание сростков 12,6%, зольность тяжелых фракций 74-76%, содержание породы в крупном классе 51%
Промпродукт	13,10	41,68	
Отходы	43,66	72,53	
Итого	100	41,01	
Лава 6			
Концентрат	66,12	8,62	Обогатимость класса +13 мм легкая, 1-13 мм – трудная, содержание сростков 4%. Зольность тяжелых фракций 80...90%. Количество класса +13 мм 53%
Промпродукт	3,22	44,16	
Отходы	30,66	84,60	
Итого	100	33,06	
Лава 7			
Концентрат	55,76	8,06	Обогатимость легкая и трудная, содержание сростков 3,4%. Зольность тяжелых фракций 78...85%. Мало шлама – 3%
Отходы	44,24	82,11	
Итого	100	40,82	
Лава 8			
Концентрат	67,29	6,97	Обогатимость легкая, содержание сростков 0,6%. Зольность тяжелых фракций 91%
Отходы	32,71	87,26	
Итого	100	33,24	
Лава 9			
Концентрат	56,20	7,92	Обогатимость легкая, содержание сростков 0,5%. Зольность тяжелых фракций 91%
Отходы	43,80	87,53	
Итого	100	42,79	
Лава 10			
Концентрат	57,64	8,51	Обогатимость трудная, содержание сростков 6,8%, зольность тяжелых фракций 80-85%. Содержание породы в крупном классе 44%
Промпродукт	7,18	45,12	
Отходы	35,18	79,24	
Итого	100	36,02	
Лава 11			
Концентрат	78,88	8,77	Обогатимость класса +13 мм средняя, 1-13 мм – трудная, содержание сростков 7%, зольность тяжелых фракций 70...80%
Промпродукт	5,60	42,37	
Отходы	15,52	72,93	
Итого	100	20,6	

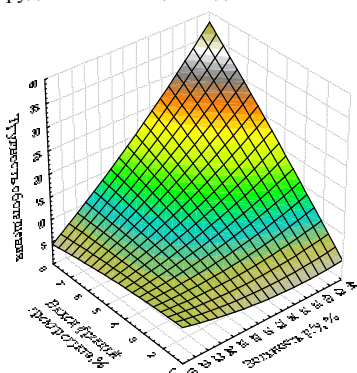
## Загальні питання технології збагачення

Анализ данных позволяет заключить, что состав угля в разных лавах крайне неравномерный. Зольность рядового угля колеблется в широких пределах – от 19 до 43%, зольность тяжелых фракций (+1,8 т/м<sup>3</sup>) – от 70 до 92%, содержание сростков – от 0,5 до 12,6%, количество крупного класса в половине случаев превышает 50%. В мелком классе преобладают угли трудной и очень трудной обогатимости, зольность его колеблется от 20 до 40%.

При разном построении технологической схемы обогащения может быть получен приведенный выход концентрата от 43 до 84% с зольностью до 9%, выход промпродукта изменяется от 0 до 13%, зольность отходов 73...88%.

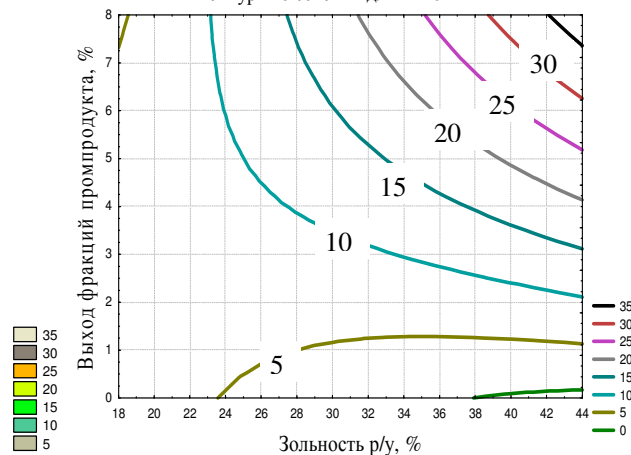
Был выполнен статистический анализ данных, результаты которого приведены ниже. На рис. 1 показана поверхность отклика (а) и ее контурные сечения (б) для трудности обогащения класса +13 мм.

Трудность обогащения для класса +13мм



а

Контурные сечения для T+13мм



б

Рис. 1. Изменение трудности обогащения класса 13-100 мм в зависимости от количества промежуточных фракций и зольности рядового угля

Из данных следует, что даже при высокой зольности этого класса в рядовом угле его категория обогатимости может быть легкой или средней. Например, при зольности 34...44% и низком количестве промежуточных фракций в классе 13-100 мм (до 2%) трудность обогащения не превышает 5 единиц. При этом категория обогатимости крупного машинного класса легкая.

И наоборот, при низкой зольности угля (22...30%) и количестве промежуточных фракций в крупном машинной классе от 4% и выше, категория обогатимости изменяется от средней до трудной. При высокой зольности и значительном содержании промежуточных фракций – более 4% – категория обогатимости трудная и очень трудная.

При обработке данных в пакете программ STATISTICA установлена квадратичная зависимость (при  $6\sigma$ ) показателя обогатимости  $T$  крупного машинного класса от его зольности  $A_{py}^d$  и количества сростков  $\gamma_{nn}$ :

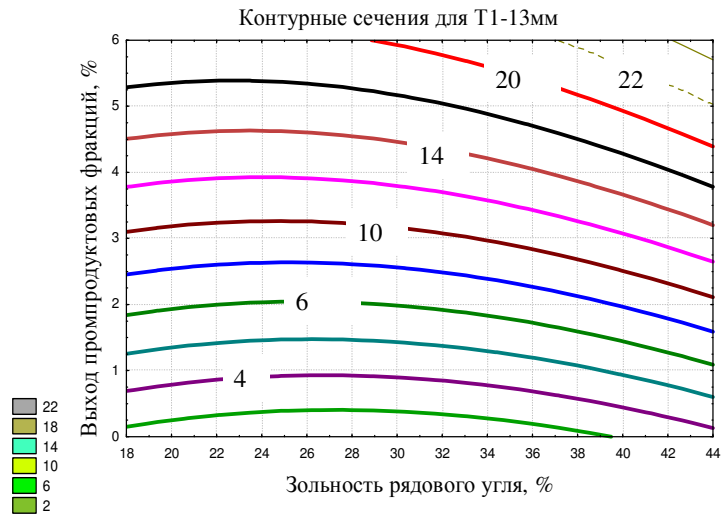
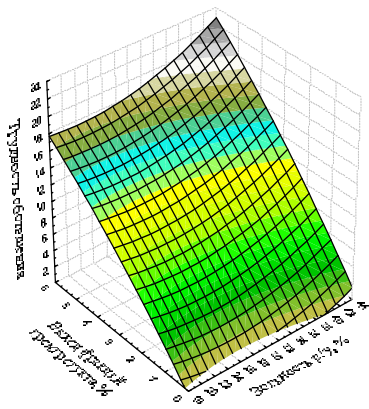
## Загальні питання технології збагачення

$$T_{+13} = 22,19 - 0,97A_{p/y}^d - 3,69\gamma_{nn} + 0,01(A_{p/y}^d)^2 + 0,2A_{p/y}^d\gamma_{nn} - 0,05(\gamma_{nn})^2. \quad (1)$$

Из величин коэффициентов и знаков при переменных можно заключить, что основное влияние на значение категории обогатимости имеет выход промежуточных фракций.

Аналогичные исследования были проведены для мелкого машинного класса, входящего в состав угля, добытого разными лавами (рис. 2).

Трудность обогащения класса 1-13мм



а

б

Рис. 2. Изменение трудности обогащения класса 1-13 мм в зависимости от количества промежуточных фракций и зольности рядового угля

Анализ данных рис. 2 позволяет сделать вывод о том, что во всем интервале изменения зольности материала категория обогатимости может быть легкой, средней или трудной в прямо пропорциональной зависимости от количества промежуточных фракций. Например, во всем диапазоне изменения зольности угля 18...42% и низком количестве промежуточных фракций в классе 1-13 мм (до 1,8%) трудность его обогащения не превышает 5 единиц. При этом категория обогатимости легкая.

При низкой зольности класса 1-13 мм в рядовом угле 18...24% и количестве промежуточных фракций от 1,8 до 3% категория обогатимости изменяется от средней до трудной. При этой же зольности и значительном содержании промежуточных фракций – более 3% – категория обогатимости мелкого машинного класса трудная и очень трудная, что влечет за собой усложнение технологической схемы обогащения.

При статистической обработке данных также установлена квадратичная зависимость (при бσ) параметра  $T$  от тех же показателей для класса 1-13 мм:

$$T_{1-13} = 6,95 - 0,62A_{p/y} + 3,44\gamma_{nn} + 0,01(A_{p/y})^2 + 0,2A_{p/y}\gamma_{nn} - 0,13(\gamma_{nn})^2. \quad (2)$$

## Загальні питання технології збагачення

Величины коэффициентов и знаки при переменных свидетельствуют о том, что основное влияние на повышение значения трудности обогащения мелкого машинного класса имеет выход промежуточных фракций.

В производственных условиях шахты сложно планировать очередность поступления рядового угля на обогащение из определенной лавы. Для прогноза были составлены различные варианты сочетания и участия лав в шихте.

При этом шихта 1 состояла из углей легкой обогатимости лав №2, 8 и 9 при их равном долевым участии (по 0,33); шихта 2 – из лав №1, 2, 4, 6-9, 11, угли из которых имеют преимущественно легкую и среднюю обогатимость; шихта 3 – лавы №3, 5, 10, где угли отличаются очень трудной и трудной обогатимостью; шихта 4 – угли всех лав при одинаковом долевым участии каждой лавы; шихта 5 – угли всех лав при их разном долевым участии. Ожидаемые балансы продуктов для этих условий представлены в таблице 2.

*Таблица 2*

Продукт	Концентрат, %		Промпродукт, %		Отходы, %		Зольность шихты, %
	Выход	Зольность	Выход	Зольность	Выход	Зольность	
Шихта 1	69,69	7,32			30,31	87,71	31,68
Шихта 2	71,39	7,83			28,61	80,63	28,66
Шихта 3	58,05	9,23	7,87	40,58	34,08	77,63	35,01
Шихта 4	70,60	9,35			29,40	81,0	30,42
Шихта 5	66,79	6,65	4,07	42,45	29,14	83,26	30,43
Шихта 4*	66,05	7,21	5,00	41,42	28,96	81,44	30,42
Шихта 5*	70,28	8,39			29,72	82,57	30,43

\* – технология с выделением трех продуктов

Расчеты показывают, что в зависимости от состава шихты выход концентрата изменяется от 58% с повышенной зольностью для труднообогатимой шихты 3 до 71% с зольностью около 8% для шихты 2 со средней категорией обогатимости. На рис. 3 показана оценка результатов обогащения по критерию селективности Годэна и эффективности по Фоменко. Показатель селективности процесса по Годэну вычислялся по формуле:

$$S_G = (100 - A_k) A_o / (100 - A_o) A_k, \quad (3)$$

где  $A_k$  и  $A_o$  – зольность концентрата и отходов, соответственно, %.

Результаты расчетов свидетельствуют о том, что для труднообогатимой шихты 3 качество разделения рядового угля снижается.

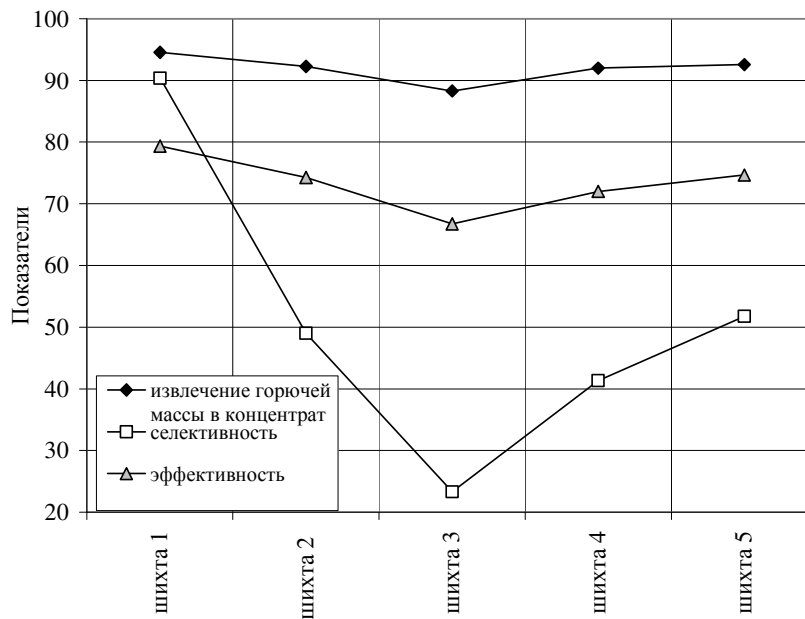


Рис. 3. Показатели качества сепарации для разных вариантов шихты

*Выводы и направления дальнейших исследований.* Для повышения качества концентрата необходимо усреднение угля, поступающего на обогащение, при котором должны учитываться обогатимость сырья и содержание промежуточных фракций в нем. При правильном шихтовании можно получить состав, который эффективно разделяется и для получения концентрата требуемого качества не требует усложнения технологической схемы и выделения промпродукта.

### Список литературы

1. Дроздник И.Д. К вопросу обеспечения металлургического комплекса коксующимися углями необходимого качества // Сб. Збагачення корисних копалин. – 2005. – Вип. 23(64). – С. 8-12.
2. Дроздник И.Д. Потребление коксующихся углей Украины. Проблемы и перспективы // Сб. трудов третьей ежегодной конференции "Уголь СНГ-2007" – Алушта. – 2007. – С. 91-95.
3. Нормы технологического проектирования углеобогачительных фабрик (ВНТП 3 – 94). – Харьков: Южгипрошахт, 1996. – 156 с.
4. Проектирование углеобогачительных фабрик. / И.И. Зозуля, Е.И. Назимко, В.Г. Самойлик и др. – К.: УМК ВО, 1992 – 284 с.
5. Полулях А.Д., Пилов П.И., Егурнов А.И. Практикум по расчетам качественно-количественных и водно-шламовых схем углеобогачительных фабрик. – Д.: НГУ, 2007. – 504 с.
6. Касаточкин В.И., Ларина Н.К. Строение и свойства природных углей. – М: Недра, 1975. – 190 с.

© Назимко Е.И., Звягинцева Н.А., Науменко В.Г., Илюхина Е.И., 2010

Надійшла до редколегії 30.06.2010 р.  
Рекомендовано до публікації д.т.н. П.І. Піловим