

Е.И. НАЗИМКО, д-р. техн. наук, **Н.А. ЗВЯГИНЦЕВА**, **В.Г. НАУМЕНКО**, инж.,
Е.И. ИЛЮХИНА, маг.
(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 0мм 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.

Таблица 1

Продукт	Выход, %	Зольность, %	Примечания
---------	----------	--------------	------------

1	2	3	4
Лава 1			
Концентрат	84,65	8,37	Обогатимость 5,3, зольность тяжелых фракций 85%, выход класса +13мм 53%.
Отходы	15,31	80,47	
Итого	100	19,41	
Лава 2			
Концентрат	82,32	4,79	Обогатимость легкая, содержание породы в классе +13мм 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 +13мм 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 +13мм легкая, 1-13мм – трудная, содержание сростков 4%. Зольность тяжелых фракций 80-90%. Количество класса +13мм 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	

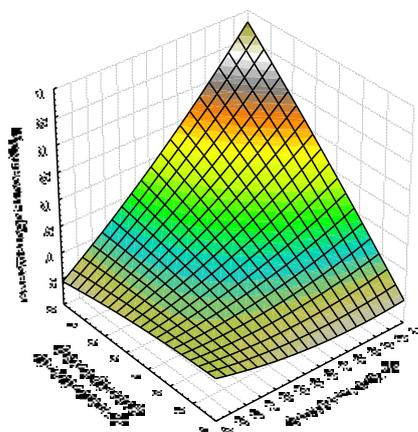
1	2	3	4
Лава 11			
Концентрат	78,88	8,77	Обогатимость класса +13мм средняя, 1-13мм - трудная, содержание сростков 7%, зольность тяжелых фракций 70-80%.
Промпродукт	5,60	42,37	
Отходы	15,52	72,93	
Итого	100	20,6	

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 (+1,8т/м³) – 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 +13мм.

Трудность обогащения для класса +13мм

*а*

Контурные сечения для Т+13мм

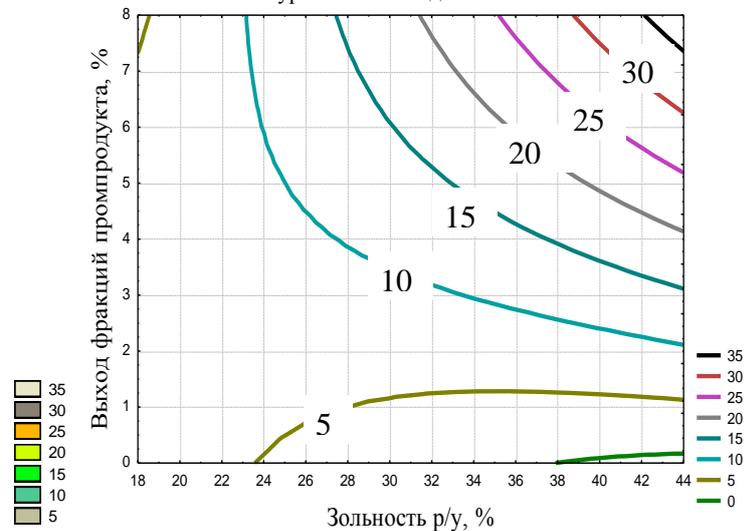
*б*

Рис. 1. Изменение трудности обогащения класса 13-100мм 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 13-100мм (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.

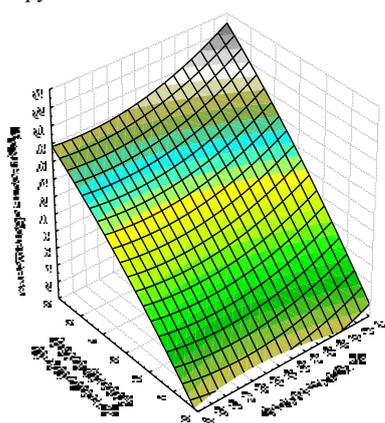
При обработке данных в пакете программ STATISTICA установлена квадратичная зависимость (при 6σ) показателя обогатимости T крупного машинного класса от его зольности $A_{p/y}^d$ и количества сростков γ_{nn} :

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

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

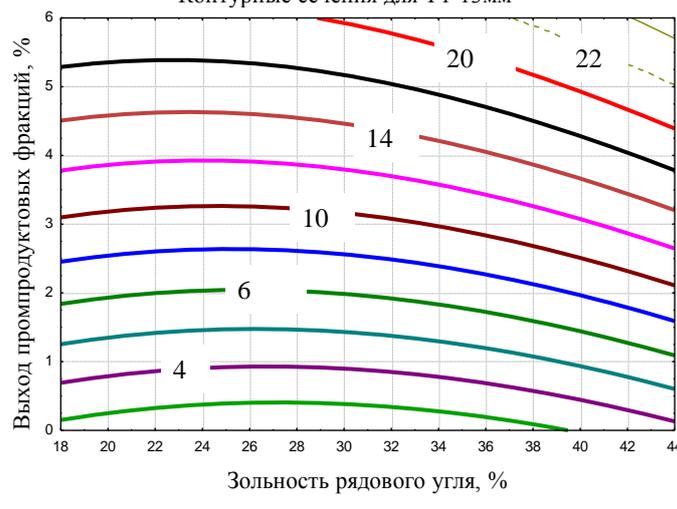
Аналогичные исследования были проведены для мелкого машинного класса, входящего в состав угля, добытого разными лавами (рис. 2).

Трудность обогащения класса 1-13мм



а

Контурные сечения для T1-13мм



б

Рис. 2. Изменение трудности обогащения класса 1-13мм 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 1-13мм (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 6σ) параметра T от тех же показателей для класса 1-13мм:

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

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 долевом 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 долевом участии каждой лавы; шихта 5 - угли всех лав при их разном долевом 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, %.

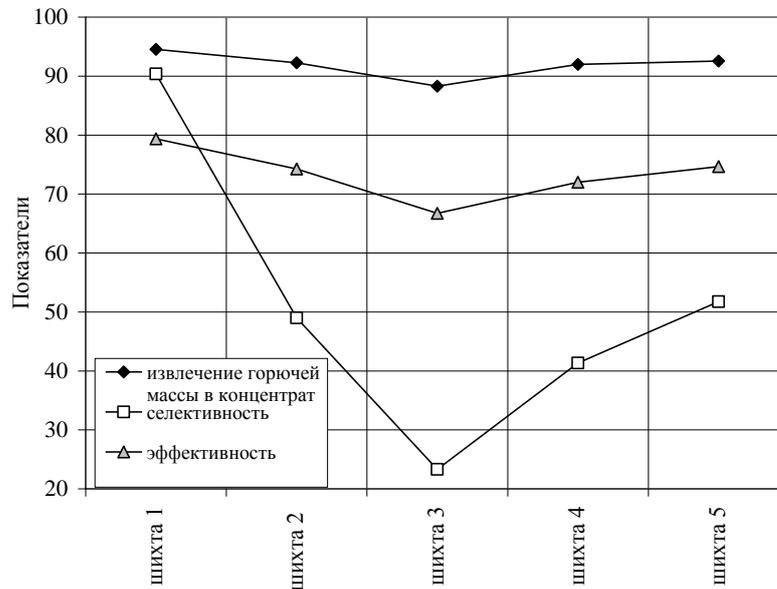


Рис 3. Показатели качества сепарации для разных вариантов шихты

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

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. **И.Д. Дроздник.** К вопросу обеспечения металлургического комплекса коксующимися углями необходимого качества // Сб. Збагачення корисних копалин. – 2005. – вип. 23 (64). – С. 8-12.
2. **И.Д. Дроздник.** 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 284с.
5. **Полулях А.Д., Пилов П.И., Егурнов А.И.** Практикум по расчетам качественно-количественных и водно-шламовых схем углеобогачительных фабрик. Днепропетровск. – НГУ. – 2007. – 504с.
6. **Касаточкин В.И., Ларина Н.К.** Строение и свойства природных углей. – М: Недра. – 1975. – 190с.