

На правах рукописи

УДК 622.75

КУЗЬМИН АЛЕКСАНДР ВЛАДИМИРОВИЧ

**Повышение эффективности обогащения углей на основе применения
вакуумно-пневматического способа сепарации**

Специальность 25.00.13 – "Обогащение полезных ископаемых"

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Москва 2008



Работа выполнена в Московском государственном горном университете (МГГУ)

Научный руководитель

доктор технических наук, профессор
Морозов Валерий Валентинович

Официальные оппоненты:

доктор технических наук
Линев Борис Иванович

кандидат химических наук
Эпштейн Светлана Абрамовна

Ведущая организация – ОАО "СИБНИИУГЛЕБОГАЩЕНИЕ" (г. Прокопьевск
Кемеровской обл.)

Защита состоится "23" декабря 2008 г. в 14 часов на заседании
диссертационного совета Д 212.128.08 при Московском государственном горном
университете по адресу: 119991, ГСП-1, Ленинский проспект, 6

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГГУ

Автореферат разослан "21" ноября 2008 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
доктор технических наук, профессор



Шек Валерий
Михайлович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В условиях снижения доступности водных ресурсов и необходимости снижения себестоимости переработки углей все большее внимание должно быть уделено методам, не предполагающим использования в качестве рабочей или вспомогательной среды технической воды. Особенно актуальна задача для предприятий Сибири и северных широт, где весьма актуальной является разработка технологий, устойчивых к значительным отрицательным температурам.

Перспективным путем решения задачи повышения эффективности обогащения углей является применение воздушной сепарации. Преимущества данного метода обусловлены возможностью резкого снижения материалоемкости, энергозатрат и уменьшения расхода технической воды. При этом важным является выбор технологических решений, предполагающих применение новых способов с высокой эффективностью разделения, соответствующей показателям обогащения отсадкой или в тяжелых средах. Одним из таких способов является вакуумно-пневматическая сепарация.

Основной задачей исследований при достижении поставленной задачи повышения эффективности технологических процессов обогащения являлось определение закономерностей разделения угля и породных минералов, их распределения и концентрирования в продуктах обогащения в условиях применения вакуумно-пневматического способа воздушной сепарации.

Методической основой оценки характеристик разделения минеральных фракций являются принципы и методы математического и физического моделирования процессов гравитационного обогащения при варьировании параметров технологического процесса и применяемых схем.

Цель работы. Установление закономерностей и определение оптимальных условий разделения угля и породных минералов в восходящих воздушных потоках, создаваемых вакуумно-пневматическим способом.

Идея работы. Применение для повышения эффективности обогащения углей многопродуктовых вакуумно-пневматических сепараторов, характеризующихся размещением побудителя расхода воздуха в зоне разгрузки и выполнением нижней поверхности в виде перфорированной сетки, перемещающейся в поперечном направлении относительно воздушного потока.

Методы исследований. В работе использованы методы химического, минералогического, спектрального и технического анализа угля; методы микроскопического анализа размеров и формы кусков материала; методы математической статистики и моделирования; лабораторные и промышленные исследования на обогатимость.

Научные положения и их новизна.

1. Определены физические и физико-химические характеристики труднообогатимых углей. Определены границы обогащаемого класса (1-50 мм) и предельно-достижимые технологические показатели их обогащения (зольность 10,5-12%, извлечение горючей массы 90-94%). Установлена закономерность достижения максимума выхода концентрата, извлечения горючей массы и выхода породы в интервале от 3 до 10 мм. Установлено, что существенной причиной снижения обогатимости угля является присутствие фракции высокозольного пористого фюзенита.
2. Разработан новый способ вакуумно-пневматической сепарации угля, отличающийся размещением побудителя расхода воздуха в зоне разгрузки угольного концентрата, подачей исходного материала в зону сепарации с постоянной скоростью поперек восходящего воздушного потока и последовательным повторением процесса сепарации в нескольких рабочих зонах с различающейся скоростью воздушного потока.
3. Впервые установлено, что в рабочей зоне вакуумно-пневматического сепаратора формируются сопряженные восходящий и вихревой потоки, обеспечивающие максимальное различие в траекториях движения зерен угля и породных минералов. Показано, что в устойчивом вихревом потоке происходит эффективное разделение фракций близкой плотности.
4. Установлены количественные зависимости выхода обогащенного концентрата и его зольности от крупности обогащаемого класса и скорости восходящего воздушного потока при использовании вакуумно-пневматического способа. Установлен класс крупности угля (+3 - -13 мм), обогащаемый наиболее эффективно. Определены параметры процесса многопродуктовой сепарации, обеспечивающие получение высококачественных ($A^d=9-12\%$), энергетических ($A^d=20-24\%$) и бытовых угольных концентратов ($A^d=32-36\%$) при высоком извлечении в них горючей массы (94,5-96%).

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов подтверждаются удовлетворительной сходимостью расчетных

и экспериментально измеренных значений параметров сепарации (коэффициент $R^2=0,85-0,99$), соответствием результатов лабораторных, опытно-промышленных и промышленных испытаний, положительными результатами внедрения разработок в производство.

Научное значение заключается в установлении закономерностей сепарации угля и породных минералов и определении оптимальных условий обогащения углей способом вакуумно-пневматической сепарации.

Практическое значение заключается в разработке технологического регламента и промышленной установки для обогащения угля способом вакуумно-пневматической сепарации, обеспечивающих увеличение извлечения горючей массы на 1,5% при снижении расхода воды на 1,5 м³ на 1 т угля, а также расхода электроэнергии на 2,5 кВтч на 1 т угля.

Реализация результатов работы Разработанный аппарат и метод воздушной сепарации внедрены в опытно-промышленную эксплуатацию на разрезе «Бунгурский-Северный» с ожидаемым экономическим эффектом 19,8 млн. руб. на 1 млн. т переработанного угля.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на научных симпозиумах «Неделя горняка» (2007-2008 г., Москва, МГГУ), на Международной научно-практической конференции «Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья» (Екатеринбург, УГГА, 2008 г.), научном симпозиуме, посвященном 105-летию национальной горной академии Украины (Днепропетровск, НГАУ, 2008 г.), семинарах кафедры "Обогащение полезных ископаемых" МГГУ (2007-2008 гг.).

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы в 6 работах.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы из 112 наименований, содержит 31 рисунок и 29 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Решение задачи повышения эффективности обогащения углей с применением способа вакуумно-пневматической сепарации требует определения уровня обогатимости исходного сырья гравитационным методом с использованием методики фракционного анализа и установления зависимостей и закономерностей разделения угля и породных минералов с применением разработанного способа,

определения оптимальных условий его применения, разработки аппарата, схем и технологического регламента обогащения угля.

Значительный вклад в разработку методик исследования и моделирования процессов гравитационного обогащения внесли М.Д. Барский, Н.Г. Бедрань, И.С. Благов, Б.В. Кизельвальтер В.А. Кинариевский, Б.И. Линев, А.Г. Лопатин, П.В. Лященко, А.Р. Молякко, О.П. Паршин, В.И. Ревнивцев, Н.А. Самылин, Т.Г. Фоменко, В.Н. Шохин, и другие отечественные и зарубежные ученые.

Объектом исследований являлись угли шахты Эрчим-Тхан и разреза Бунгурский, относящиеся к категории труднообогатимых инверсионных углей. Выбор в качестве объекта исследования углей перечисленных типов был обусловлен необходимостью оценки возможности применения воздушной сепарации для обогащения труднообогатимых углей Якутии и Кузнецкого бассейна.

Исследование состава и обогатимости углей гравитационными методами

Методика исследования фракционного состава и обогатимости углей гравитационными методами включала ситовой и фракционный анализ, разделение представительной пробы угля на фракции в жидкостях различной плотности, определение массовых выходов и зольности полученных фракций.

Анализ результатов фракционного анализа для класса +100 мм (рис.1) и класса +50 - - 100 мм труднообогатимых углей шахты Эрчим-Тхан показал следующее. Суммарный выход фракций плотностью менее 1400 кг/м³ (концентрата) составил 62,1-63,9%. Суммарный выход фракций плотностью от 1400 до 1800 кг/м³ (промпродукта) – 11,1-11,2%. Суммарный выход фракций плотностью более 1800 кг/м³ (хвостов) – 24,9-26,8%. Фракции указанной крупности относятся к труднообогатимым (Т=14,9-15,1%).

Характерно, что фракция легче 1270 кг/м³ характеризуется аномально высокой зольностью (7,8%). Проведенными физико-химическими исследованиями было установлено, что это явление связано с наличием особой разновидности угля, определяемого как Фюзенит и характеризуемой высокой пористостью (до 10%) и, одновременно, значительным содержанием неорганических включений размером от 1 до 50 мкм (до 12%), представленных в значительной мере солями и окислами железа (до 5%). Поэтому в качестве нормативной зольности обогащенного угля выбрано значение 12%.

Расчетный выход концентрата зольностью 12% составляет 62,7% (рис.1А). Расчетное извлечение горючей массы при получении концентрата зольностью 12% составляет 67,0-80,3% (рис. 1Б). Невысокое значение извлечения горючей массы в концентрат показывает необходимость додрабливания фракций +50 - -100 и +100 мм с целью улучшения их обогатимости.

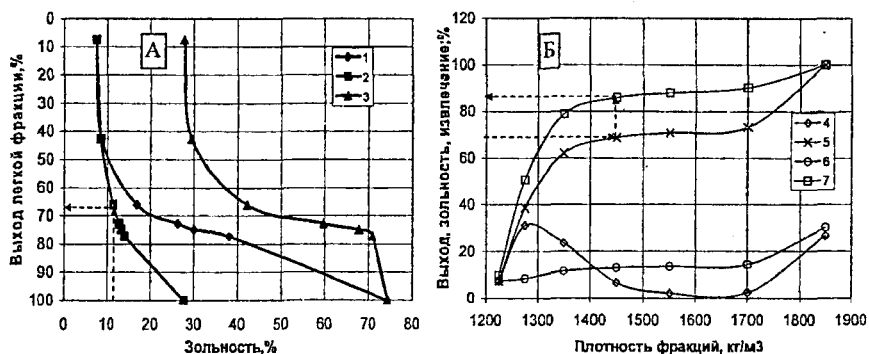


Рис. 1. Кривые обогатимости (А) и сепарационные характеристики (Б) фракции угля шахты Эрчим-Тхан крупностью +100 мм:
1 – кривая обогатимости; 2- кривая концентрата; 3 – кривая отходов; 4 – выход частных фракций; 5- выход концентрата; 6 – выход отходов; 7 – извлечение горючей массы угля в концентрат

Анализ результатов фракционного анализа для классов +13 - -25 мм, (рис.2) и +6 - -13 мм показал следующее. Суммарный выход фракций плотностью менее 1400 кг/м³ (концентрата) составил 76,8-77,6%. Суммарный выход фракций плотностью от 1400 до 1800 кг/м³ (промпродукта) – 11,6-11,8%. Суммарный выход фракций плотностью более 1800 кг/м³ (хвостов) – 10,6-11,6%. Классы +13 - -25 мм и +6 - -13 мм относятся к труднообогатимым.

Расчетный выход концентрата зольностью 12% составляет 78,8-81,7% (рис.2а). Расчетное извлечение горючей массы при получении концентрата зольностью 12% составляет 90,0-91,5% (рис. 2б). Достигнутое значение извлечения горючей массы позволяет сделать заключение о возможности обогащения фракций угля шахты Эрчим-Тхан +13 - -25 и +6 - -13 мм без додрабливания. Пористость фракции угля плотностью 1270 кг/м³ для указанных классов составляет 7,4-7,5%.

Анализ результатов фракционного анализа для классов +3 - -6 мм и +1 - -3 мм показал следующее. Суммарный выход фракций плотностью менее 1400 кг/м³ (концентрата) составил 75,6-80,0%. Суммарный выход

фракций плотностью от 1400 до 1800 кг/м³ (промпродукта) – 13,9-15,3%. Суммарный выход фракций плотностью более 1800 кг/м³ (хвостов) – 10,5-14,7%.

Расчетный выход концентрата с зольностью 12% составляет 80,0-83,1%. Расчетное извлечение горючей массы при получении концентрата зольностью 12% составляет 91,2-94,0%. Достигнутое значение извлечения горючей массы позволяет сделать заключение о возможности обогащения классов +3 - 6 мм, и +1 - 3 мм угля шахты Эрчим-Тхан. Пористость фракций угля плотностью 1270 кг/м³ для указанных классов составляет 6,5-7,0%.

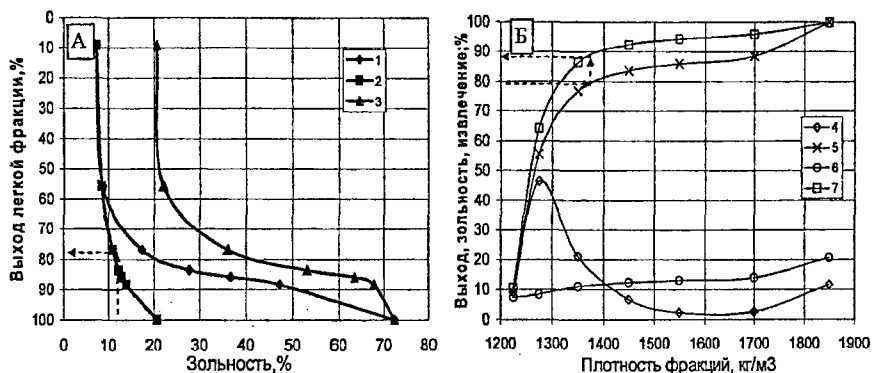


Рис. 2. Кривые обогатимости (А) и сепарационные характеристики (Б) фракции угля шахты Эрчим-Тхан крупностью +13 - 25 мм:

1 – кривая обогатимости; 2- кривая концентрата; 3 – кривая отходов; 4 – выход частных фракций; 5- выход концентрата; 6 – выход отходов; 7 – извлечение горючей массы угля в концентрат

Анализ результатов фракционного анализа для класса -1 - +0,5 и - 0,5 мм показал следующее. Суммарный выход фракций плотностью менее 1400 кг/м³ (концентрата) составил 46,8 - 62,2%. Суммарный выход фракций плотностью от 1400 до 1800 кг/м³ (промпродукта) – 18,7-28%. Суммарный выход фракций плотностью более 1800 кг/м³ (хвостов) – 19,2-25,2%. Фракции относятся к очень труднообогатимым. Расчетный выход концентрата зольностью 12% составляет 57,0-72,8%. Расчетное извлечение горючей массы при получении концентрата зольностью 12% составляет 68,5-88,8%.

Невысокое значение извлечения угольной массы не позволяет сделать заключение о возможности эффективного обогащения фракций +0,5-1 и -0,5 мм гравитационным методом. Следует учесть, что

фракционный анализ этих классов проводился в тяжелых средах в динамическом режиме, характеризующемся неполным достижением теоретически возможных показателей. Учитывая достигнутую степень раскрытия угольных и породных частиц, следует принять как теоретически достижимую обогатимость для данного класса показатели по смежному классу +1 - -3 мм. Однако наблюдаемое низкое извлечение горючей массы в концентрат свидетельствует о нецелесообразности применения классических гравитационных методов обогащения для класса -1 мм.

Таким образом, для труднообогатимых углей шахты Эрчим-тхан применение гравитационных методов обогащения обосновано в диапазоне крупности фракций +1 - -25 мм. Обогащение класса +25 - -50 мм целесообразно в случае невысокого содержания пористой фюзенитовой фракции.

Обобщение результатов проведенных исследований позволило установить закономерности экстремального характера зависимостей выхода обогащенного угля, извлечения горючей массы угля в концентрат и выхода отвального продукта от крупности обогащаемого класса (рис. 3).

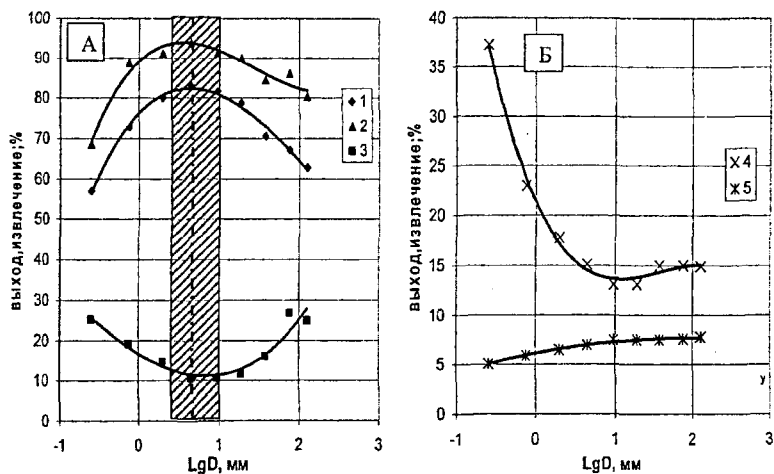



Рис.3. Зависимости технологических свойств угля и параметров разделения от крупности классов (D):
 1 – выход обогащенного угля; 2 – извлечение горючей массы угля в концентрат; 3- выход отвального продукта; 4 – параметр обогатимости T; 5 – пористость угля;
 - интервал оптимальных значений крупности классов

Наилучшие показатели (выход концентрата 82-83%, извлечение горячей массы 92-94%) достигаются для фракций в интервале крупности от 3 до 10 мм (рис.3А).

Другой установленной закономерностью является снижение пористости угля при уменьшении его крупности (рис. 3Б). Зависимость критерия обогатимости угля (Т) от крупности его характеризуется резким снижением обогатимости (ростом Т) в диапазоне значений D менее 5 мм и плавным снижением обогатимости в при значениях D более 13 мм.

Математические уравнения установленных зависимостей представлены в табл. 1. Высокие значения показателя определенности (0,89-0,98) характеризуют адекватность полученных математических уравнений экспериментально установленным зависимостям между исследуемыми параметрами.

Таблица 1

Зависимости параметров обогатимости и свойств угля от крупности фракций

№ №	Параметр	Уравнение связи	Показатель определенности R ²
1	Выход концентрата	$Y_1 = 4,94X^3 - 20,92X^2 + 18,68X + 89,16$	0,95
2	Извлечение горючей массы угля в конц-т	$Y_2 = 2,62X^3 - 18,43X^2 + 20,39X + 76,19$	0,98
3	Выход хвостов	$Y_3 = 1,4256X^3 + 5,3402X^2 - 12,204X + 16,772$	0,89
4	Обогатимость Т	$Y_4 = -2,6611X^3 + 12,55X^2 - 17,658X + 21,424$	0,98
5	Пористость угля	$Y_5 = -0,0003X^3 - 0,39X^2 + 1,5606X + 6,142$	0,97

Исследования обогащения угля методом вакуумно-пневматической сепарации

Исследования обогатимости углей проводились на обогатительной установке СЕПАИР-1-0.5 (рис.4), реализующей способ вакуумно-пневматической сепарации материала в восходящем потоке воздуха, создаваемом при помощи расположенного в зоне разгрузки концентрата побудителя расхода воздуха - всасывающего воздушного насоса, подачей исходного материала в зону сепарации с постоянной скоростью поперек восходящего воздушного потока и последовательным повторением процесса сепарации в нескольких рабочих зонах с различающейся скоростью воздушного потока.

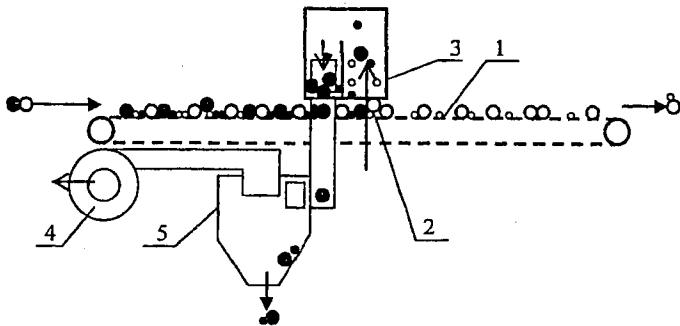


Рис.4. Принципиальная схема пневматического сепаратора СЕПАИР-1-0,5:

- 1 – ленточный сетчатый конвейер; 2 – рабочая зона сепаратора;
3 - сопло; 4 – воздуходувка; 5 – бункер для накопления
продуктов сепарации

Способ обогащения углей включает следующие операции. Поступающий на сепарацию материал с помощью вибрационного питателя распределяется в тонкий слой на поверхности ленточного сетчатого конвейера 1. Транспортируясь, материал попадает в зону воздушного сопла 2, через которое с определенной скоростью всасывается воздух. Воздушный поток в рабочей зоне 3 создается за счет работы воздуходувки 4, соединенной через концентратный бункер 5 с соплом 2. С помощью частотного преобразователя привода воздуходувки подбирается необходимый расход воздуха через сопло 3, обеспечивающий при заданном сечении сопла 2 требуемую скорость воздушного потока. Восходящий поток воздуха передает импульс транспортируемому по конвейеру материалу. Куски, имеющие меньшую плотность, захватываются воздушным потоком и попадают в продуктовый бункер 5, более тяжелые остаются на конвейере 1 и транспортируются в накопительную емкость для хвостов. Куски промежуточной плотности, не попавшие в зону разгрузки, концентрируются в вихревом потоке, где происходит их дальнейшая сегрегация (рис.5). Более плотные фракции входят в рабочую зону с обратным импульсом, который не позволяет им быть захваченным рабочим потоком воздуха в зоне сепарации. Менее плотные фракции входят в основную зону сепарации по горизонтальным траекториям и имеют лучшие условия для перемещения в зону разгрузки концентрата.

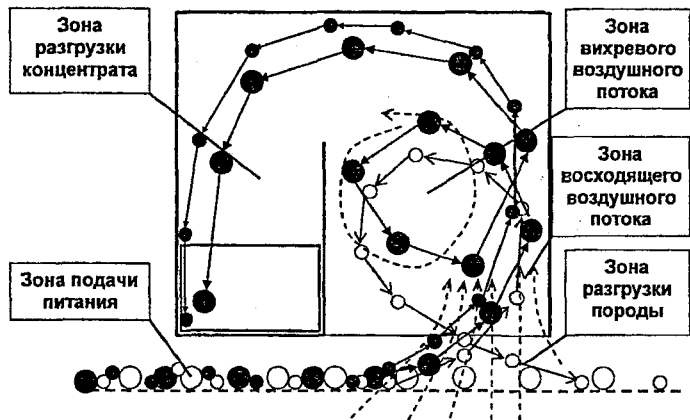


Рис.5. Траектории движения зерен (кусков) угля (●) и породы (○) в рабочей зоне сепаратора в воздушном потоке, создаваемом методом разряжения

Таким образом, организация в рабочей зоне восходящего воздушного потока и сопряженного с ним вихревого потока, в котором происходит дообогащение фракций промежуточной плотности, принципиально отличается от имеющейся в других аппаратах пневматического обогащения и обеспечивает высокие технологические показатели процесса.

При лабораторных исследованиях проба массой от 160 до 200 кг разделялась на классы заданной крупности на специальном многопродуктовом грохоте, оснащенный ситами с отверстиями заданного размера. Полученные классы использовались в исследованиях на обогатимость. Общая схема испытаний представлена на рисунке 5.

Первая схема (одностадиальная) предназначалась для исследования обогатимости труднообогатимых углей и обеспечивала получение концентрата, промпродукта и отвального продукта (рис.5А). Вторая схема (двухстадиальная) применялась для исследования обогатимости очень труднообогатимых углей, в т.ч. для углей с высоким содержанием пористого, высокозольного фюзенита. Схема обеспечивала получение двух концентратов, промпродукта и отвального продукта.

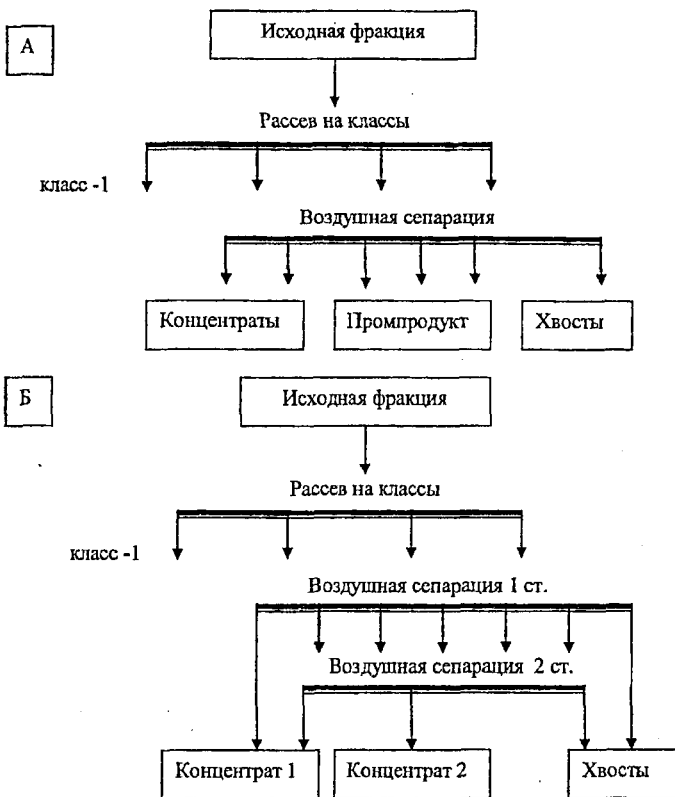


Рис. 5. Схемы исследования углей на обогатимость способом вакуумно-пневматической сепарации

Результаты обогащения фракций труднообогатимого угля крупностью +3 - -8; +8 - -13 мм, показали (рис.6А,Б), что зависимость распределения выходов продуктов сепарации имеет четко выраженный максимум выхода продуктов с зольностью меньше 16%. Относительно высокая зольность угольной фракции обусловлена особенностями структуры угля, характеризующегося одновременным присутствием воздушных пор и включений породных минералов.

Выход концентрата зольностью 16% составляет от 62,0 до 65,0%, промпродукта - от 29,9 до 31,2%, а отхода зольностью 75,0% - от 4,5 до 12,4%. Выход концентрата зольностью 16,0% при ведении процесса в одну операцию составляет 72,5 - 76%.

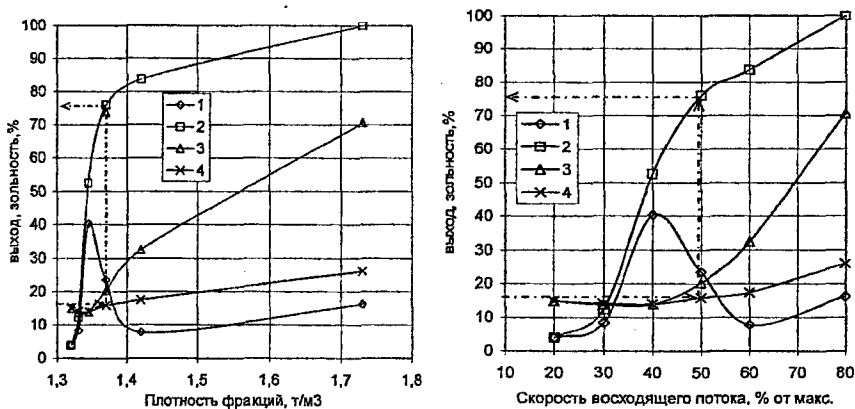


Рис. 6. Зависимость выходов и зольности продуктов сепарации угля шахты Эрчим-Тхан от плотности фракций (а) и скорости восходящего потока (б) для класса +8 -13 мм:
1 – выход фракций; 2- выход концентрата; 3 – зольность фракций; 4 – зольность концентрата

Результаты исследований на обогатимость угля шахты Эрчим-тхан методом пневматической сепарации показали, что классы крупностью от 1 до 13 мм могут быть обогащены в одну операцию с получением концентрата зольностью 14,5 и 23,5% с общим выходом 70,1%, промпродукта зольностью 34,5%, отвального продукта зольностью 73,2% с выходом 1,9%. При использовании двухстадийного обогащения получены угольные концентраты зольностью 13 и 20,2% и отходы зольностью 73,5% при выходе 4,2% (табл.2,3).

Результаты исследования обогатимости труднообогатимого угля (T=13,1) разреза Бунгурский способом вакуумно-пневматической сепарации показали, что классы крупностью от 2,5 до 13 мм могут быть эффективно обогащены в одну операцию с получением концентрата с зольностью 12,0% и общим выходом 60,3%, промпродукта с зольностью 22,0%, отвального продукта с зольностью 76,0% и выходом 12,7% (рис. 7).

Анализ полученных результатов обогащения угля разреза Бунгур (табл. 2 и 3) показал, что наилучшие результаты получены при обогащении узких классов угля в интервале крупности +3-13 мм. Более крупные классы могут быть обогащены методом воздушной сепарации после дробления. При обогащении угля широкого класса крупности (+1 - -13 мм) достигнутые значения зольности концентрата на 1,0 – 1,5% выше, чем средневзвешенные по отдельным классам.

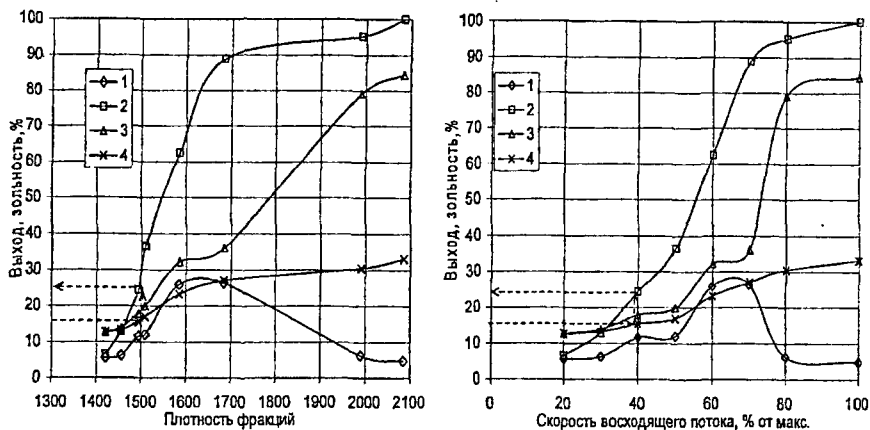


Рис. 7. Зависимость выходов и зольности продуктов сепарации угля разреза Бунгур от плотности фракций и скорости восходящего потока для класса +13 -20 мм:

1 – выход фракций; 2 – выход концентрата; 3 – зольность фракций; 4 – зольность концентрата

Таблица 2

Выход и зольность продуктов сепарации при лабораторных испытаниях на пробе угля разреза Бунгурский

Класс, мм	Выход продуктов сепарации, %		
	Зольность, %		
	менее 15%	15- 50	более 50
+ 13 - -20	61,9	27,0	11,1
+ 10 - -13	68,7	23,0	8,3
+ 5 - -10	49,9	36,6	13,5
+2,5 - -5	47,1	35,3	17,6
+1 - -13	44,3	43,1	12,6

Таблица 3

Расчетный выход концентрата, промпродукта и хвостов по результатам лабораторных испытаний на пробе угля разреза Бунгурский

Класс, мм	Выход продуктов сепарации, %		
	Концентрат (A ^d =12%)	Промпродукт (A ^d =24-26%)	Хвосты (A ^d =76%)
+ 13 -20	54,7	33,2	12,1
+ 10 -13	81,7	12,3	7,0
+ 5 -10	61,5	23,0	15,5
+2,5 -5	62,5	23,0	14,5
+1-13	52,9	35,7	11,5

Разработка и испытания установки для вакуумно-пневматического обогащения угля

Для оценки возможности промышленного применения разработанного метода и аппарата были поставлены опыты на представительной пробе угля диапазона крупности +25 - -50 мм. Опытно-промышленные испытания обогатимости углей, добываемых на разрезе «Бунгурский», проводились методом пневматической сепарации на промышленной обогатительной установке «СЕПАИР», изготовленной на предприятии «Гормашэкспорт», г. Новосибирск.

При работе установки исходный материал заданной крупности подавался на конвейер с сетчатой лентой 1 (рис.8) под сопла 2, где из материала отделяли легкие фракции с последовательно увеличивающейся плотностью от 1250 до 1350 кг/м³, для чего в соплах 2 устанавливали при помощи воздуходувки 4 необходимое разрежение воздуха в пределах 400-800 мм вод. ст. Поднятые воздушным потоком фракции угля выделяются из воздушного потока в осадительной камере 3, а воздух обеспыливался в циклонах 5 и направлялся вентиляционной установкой 4 через фильтры 9 в атмосферу.

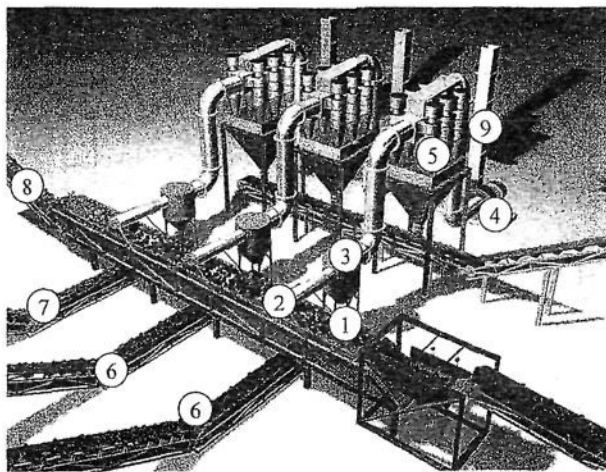


Рис.8. Принципиальная схема промышленной установки «Сепайр» для обогащения угля с выделением двух концентратов, промпродукта и отвальных отходов:

1 - ленточный сетчатый конвейер; 2 - сопло; 3 - бункер для накопления продуктов сепарации. 4 - воздуходувка; 5- система аспирации воздуха; 6 - конвейер для удаления концентратов; 7 - конвейер для удаления промпродуктов;. 8 - конвейер для удаления отходов; 9 - фильтры

Угольный концентрат, разгружаемый из осадительной камеры 3, смешивался с пылевой фракцией их циклона 5 и фильтра 9 и направлялся на отгрузку конвейером 6. Промпродуктовая фракция транспортировалась конвейером 7 на отдельный склад.

Результаты опытно-промышленной эксплуатации показали возможность обогащения малозольного угля разреза Бунгурский трудной обогатимости с получением металлургического концентрата (9,5% зольности), энергетического концентрата (зольность 25,2%), промпродукта и отвальных хвостов (табл. 4).

Таблица 4.

Технологические показатели обогащения фракции +25 - -50 мм малозольного угля разреза Бунгурский трудной обогатимости на промышленной установке «Сепайр»

Продукты обогащения	Выход		Зольность; %	Извлечение горючей массы, %
	т	%		
Концентрат 1	27,59	55,18	9,50	63,46
Концентрат 2	13,78	27,50	25,20	26,10
Промпродукт	4,62	9,22	36,32	7,61
Отвальный продукт	4,05	8,10	78,40	2,83
Итого	50,04	100,0	21,89	100,0

Результаты опытно-промышленной эксплуатации показали возможность обогащения средnezольного угля разреза Бунгурский трудной обогатимости с получением металлургического концентрата (зольность 12,5%), энергетического концентрата (зольность 34,5%), промпродукта и отвальных хвостов (табл. 4).

Таблица 5

Технологические показатели обогащения фракции +25 - -50 мм средnezольного угля разреза Бунгурский трудной обогатимости на промышленной установке «Сепайр»

Продукты обогащения	Выход		Зольность; %	Извлечение горючей массы, %
	т	%		
Концентрат 1	540	55,02	12,5	65,06
Концентрат 2	262	26,64	34,59	23,55
Промпродукт	94	9,57	46,5	6,92
Отвальный продукт	86	8,77	76,4	4,47
Итого	982	100,0	26,09	100,0

Эффективность разработанного способа и примененной одностадийной схемы подтверждается низкими потерями горючей массы с отвальным продуктом (2,83-4,47%) и небольшим выходом промпродукта (9,22-9,57%). Получение максимально достижимых технологических показателей возможно на основе применения развитых схем обогащения с замкнутым или отдельным промпродуктовым циклом.

Результаты опытно-промышленной эксплуатации показали возможность обогащения класса +25 - - 50 мм разреза Бунгурский трудной обогатимости с получением металлургического концентрата (9,5-12,5% зольности), энергетического концентрата (зольность 25,2-34,5%), промпродукта и отвальных хвостов (зольность 75-78%). Использование разработанного способа и аппарата в сравнении с действующей технологией тяжелосреднего обогащения позволяет достичь увеличения извлечения горючей массы на 0,5%, снижения расхода воды на 1,3 м³ на 1т угля и снижение расхода электроэнергии на 2,5 кВтч на 1т угля. Расчетный экономический эффект от внедрения новой технологии составляет 19,8 млн. рублей на 1 млн.т переработанного угля.

Таблица 6

Основные технико-экономические показатели переработки угля с применением вакуумно-пневматического способа обогащения

№	Технико-экономические показатели обогащения	По технологии тяжелосреднего обогащения	По технологии отсадки	По технологии вакуумно-пневматического обогащения
3	Извлечения горючей массы в концентрат, %	90,5-95,0	92,0 -94,0	92,5-95,0
5	Расход воды, м ³ /т	1,2-1,35	1,3-1,5	0,05
6	Расход электроэнергии, кВтч/т	14,0-16,0	12,0-14,0	10,0-11,0
7	Стоимость оборудования (на 1 млн. т в год), млн. руб.	166,0	161,0	141,5
9	Себестоимость переработки с учетом амортизации (руб./т)	278,0	247,5	227,7
10	Эффективность относительно технологии отсадки (на 1 млн. т угля), млн. руб.	-21,5	0,0	+19,8

Таким образом, полученные результаты показали, что применение вакуумно-пневматического способа обогащения позволяет решить задачу повышения эффективности обогащения углей. Результаты опытно-промышленной эксплуатации позволяют рекомендовать разработанную технологию и аппарат для применения на разрезах и обогатительных фабриках Якутии, Кузбасса и других регионов.

Заключение

В диссертационной работе дано новое решение актуальной научной задачи повышения эффективности обогащения углей на основе применения вакуумно-пневматического способа сепарации, обеспечивающего повышение извлечения горючей массы, снижение расхода воды и электроэнергии.

Основные выводы заключаются в следующем:

1. Для труднообогатимых углей (на примере шахты Эрчим-Тхан) определена крупность эффективно обогащаемого гравитационными методами класса от 1 до 25 мм и определены предельно достижимые технологические показатели: выход концентрата зольностью 12% от 78,8 до 83,1% при извлечении горючей массы от 90,0 до 94,0%. Показано, что класс крупностью от 25 до 50 мм может быть эффективно обогащен (выход концентрата 62,7% и извлечение в него горючей массы до 67%). Класс мельче 1 мм характеризуется плохой обогатимостью (выход концентрата 57,0-72,8% при извлечении угольной массы 68,5-88,8%).

2. Показано, что зависимости выхода концентрата, извлечения горючей массы угля в концентрат и выхода отвального продукта от крупности обогащаемого класса носят экстремальный характер. Максимальные значения выхода концентрата (82-83%), извлечения горючей массы угля (92-94%) и минимальное значение выхода отвального продукта (11%) достигаются для классов в интервале крупности от 3 до 10 мм. Зависимость критерия обогатимости угля (T) от крупности фракций характеризуется резким снижением обогатимости (ростом T с 13,1 до 37,5) при снижении крупности класса в диапазоне значений D менее 3 мм и плавным снижением обогатимости при увеличении крупности класса в диапазоне значений D более 10 мм.

3. Установлено, что в труднообогатимых углях присутствует разновидность угля, определяемого как Фюзенит и характеризуемая высокой пористостью (до 10%) и, одновременно, значительным

содержанием неорганических включений размером от 1 до 50 мкм (до 12%), представленных в значительной мере солями и окислами железа (до 5%). Установлена закономерность плавного снижения пористости угля от 8 до 5% при уменьшении его крупности от 100 до 0,5 мм, обусловленная раскрытием крупных пор.

4. Разработан новый способ и конструкция аппарата для вакуумно-пневматического обогащения угля в восходящем воздушном потоке, формируемом путем размещения побудителя расхода воздуха в зоне разгрузки концентрата и характеризующимся равномерной подачей исходного питания в рабочую зону в поперечном направлении относительно воздушного потока.

5. Определена структура потоков и траектории движения кусков и зерен угля и породных минералов в зоне разделения пневматического сепаратора с воздушным потоком, создаваемым вакуумно-пневматическим способом. Показано, что разработанный способ и устройство характеризуются наличием сопряженного восходящего и устойчивого вихревого потока, в котором происходит разделение фракций промежуточной плотности, чем обеспечивается высокая эффективность обогащения.

6. Показано, что фракции крупностью от 1 до 13 мм угля разреза Эрчим-Тхан могут быть обогащены методом пневматической сепарации в одну операцию с получением концентратов зольностью 14,5 и 23,5% с общим выходом 70,1%, промпродукта и отвального продукта зольностью 73,2%. При использовании двухстадиального обогащения получен обогащенный угольный концентрат зольностью 13 и 20,2% и отходы зольностью 73,5%. Показано, что фракции крупностью от 2,5 до 20 мм угля разреза Бунгурский могут быть эффективно обогащены в одну операцию с получением обогащенного угля зольностью 12,0%, промпродукта и отвального продукта зольностью 76,0%.

7. Опытными промышленными испытаниями показана возможность обогащения угля разреза Бунгурский трудной обогатимости с получением металлургического концентрата (зольность 9,5-12,5%), энергетического концентрата (зольность 25,2-34,5%), промпродукта и отвальных хвостов (зольность 75-78%). Разработанная технология в сравнении с действующей технологией гравитационного обогащения позволяет повысить извлечение горючей массы на 0,5%, снизить расход воды на 1,3 м³ на 1 т угля и расход электроэнергии на 2,5 кВтч на 1 т угля. Расчетный экономический эффект от внедрения новой технологии составляет 19,8 млн. рублей на 1 млн. т переработанной фракции.

Основные положения диссертационной работы опубликованы в следующих печатных трудах:

1. Кузьмин А.В., Калина А.В., Морозов В.В. Обогащение углей шахты разреза Бунгур методом пневматической сепарации // Горный информационно-аналитический бюллетень. -2008. -№10. -С.236-241.

2. Кузьмин А.В., Морозов В.В. Обогащение углей шахты Эрчим-Тхан методом пневматической сепарации // Горный информационно-аналитический бюллетень. -№11. -2008. -С.191-198.

3. Кузьмин А.В., Люленков В.И., Качуров К.В. Пневматическое обогащение угля в сепараторах всасывающего типа // Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья / Материалы международной конференции. -Екатеринбург, 26-30 мая 2008 г. –С.59-62.

4. Авдохин В.М., Морозов В.В., Бойко Д.Ю., Кузьмин А.В. Современные методы обогащения углей методом пневматической сепарации // Збагачення корисних копалин, 34(75), 2008. – С.132-140.

5. Люленков В.И., Кузьмин А.В., Качуров К.В., Кардаков А.Л., Бойко Д.Ю. Способ сухого обогащения. Патент РФ № 2268787, 2005. Оубл. 27.01.2006.

6. Кузьмин А.В., Люленков В.И., Качуров К.В., Кардаков А.Л., Способ сухого обогащения угля. Патент РФ № 2282503, 2005. Оубл. 27.08.2006.

Вклад автора в работы, выполненные в соавторстве, состоял в разработке методик исследований, организации и непосредственном участии в выполнении исследований и испытаний, промышленном внедрении, анализе и обобщении полученных результатов, разработке рекомендаций.

Подписано в печать 19.11.2008 Формат 60x90/16

Объем 1 п.л. Тираж 100 экз. Заказ № *940*.....

Типография МГУ. Ленинский просп., 6