

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИЧЕСКОГО ФАКТОРА РАЗДЕЛЕНИЯ СЕПАРАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ НА ЭВМ

Ариненков Ю.Д.

Донецкий национальный технический университет, кафедра ОПИ

E-mail: opi@fizmet.dgtu.donetsk.ua

Abstract

Arinenkov Yu.D. Determination of physical factor of division of separation technology on computer. Set the problem to define the size of extraction of dividing group in the product of the separation technology on description by means of numerical functions of low bound of «region of maximal possible errors of division» high and its decision is given with the help of computer.

1. Постановка проблемы

Важнейшими характеристиками углей являются гранулометрический и фракционный состав, по которым выбираются технологические схемы добычи и переработки полезного ископаемого. Эти характеристики необходимы также для контроля и оперативного управления процессом обогащения с целью оптимизации не только качественных, но и количественных показателей. Последнее осуществляется рационализацией загрузки оборудования и непосредственно связано с задачами энергосбережения, которые Законом Украины об энергосбережении от 1 июля 1994 года № 74/94-ВР поставлены в ряд приоритетных для обеспечения энергетической и экономической безопасности Украины. Для решения этих задач необходимо не только измерять указанные характеристики, но и уметь прогнозировать их изменения от настройки управляющих физических факторов разделения – плотности и крупности. В таких процессах как обогащение в тяжелой среде или классификация материала по крупности на грохотах эти факторы настраиваются достаточно точно, но в других процессах их определяют по косвенным признакам и весьма приближенно. Для повышения эффективности переработки сыпучего материала необходимо наличие универсальных методов и средств описания его характеристик, процессов и схем при управлении технологией по физическим факторам разделения.

2. Анализ публикаций по проблеме

Вопросы описания ситовых и фракционных характеристик сыпучих материалов были наиболее распространенной темой многочисленных исследований, ставивших своей целью получить некоторую универсальную аппроксимирующую функцию как закономерность для таких характеристик. Только в монографии [1] дается библиография из 101 наименования по этому вопросу, но такой закономерности не найдено. В указанном источнике подчёркивается: «Определение гранулометрического и фракционного состава углей обычными методами является трудоёмкой, дорогостоящей и продолжительной операцией. Поэтому производственники идут по пути сокращения числа анализов, что ускоряет процесс получения результатов анализов, но вместе с тем значительно снижает их ценность и не позволяет устанавливать действительную картину обогатимости углей и определять наиболее эффективные режимы их обогащения». Таким образом, наблюдается противоречие между требованиями увеличить количество опытов для повышения достоверности аппроксимации данных и сложностью получения этих данных, побуждающей на практике уменьшать количество опытов. Очевидно, проблема описания ситовых и фракционных характеристик сыпучих материалов порождена самой идеологией такого описания, а точнее, традиционными догмами, которые принимаются исследователями без должного анализа.

Для обсуждения этого вопроса обратимся к работам выдающегося французского математика Анри Пуанкаре, известного также как популяризатора физико-математических наук: «... проводимую кривую строят так, что она проходит между наблюдаемыми точками – близ них, но не через них. Таким образом, опыт не только обобщается, но и подвергается исправлению; а если бы физик захотел воздержаться от этих поправок и на самом деле удовольствоваться голым опытом, то ему пришлось бы высказывать очень странные законы ([2], с.92. Сокращено нами – Ю.А.)» Характеристики ситового и фракционного состава представляют собою именно «при голом опыте» такие «странные» законы, которые ещё не удалось описать некоторой универсальной функцией. Но это не значит, что такие характеристики вообще нельзя описать какой-либо закономерностью. В работе [3] автор предложил принцип описания «as is», обозначающий отказ от необоснованных догм, препятствующих выявлению общих свойств в изучаемых характеристиках. В соответствии с этим принципом в работах автора [3, 4, 5] были разработаны два универсальных рекурсивных метода *knot*- и *area*-продолжения массивов данных, гарантирующие, что последующая кусочно-линейная интерполяция продолженных этими методами массивов будет давать наиболее правдоподобные плавные кривые без какого-либо подбора специальных функций, разработаны также программы построения соответствующих кривых на ЭВМ. В работе [6] показано, что ситовые характеристики можно оценивать так же, как и фракционные, по единой формуле, но для этого нужно отказаться от очередной догмы.

Цитируем работу [1]: «Суммарные характеристики крупности, построенные для одной пробы по плюсу и минусу, являются зеркальным отображением друг друга, а точка их пересечения на графике соответствует выходу материала, равному 50%, и показывает крупность частиц угля, которой соответствует этот выход.». Это распространённое в теории обогащательной технологии заблуждение порождает множество других, например, утверждение о существовании сепарационной характеристики у сепарационных процессов и возможность описания такой характеристики с помощью интегральной функции нормального распределения случайных величин.

В работе [7] делается попытка теоретически доказать это положение в применении к сепарационному процессу следующим образом. Засорение лёгкого продукта (концентрата) тяжёлыми фракциями в указанной работе обозначено через S_1 , засорение тяжёлого продукта лёгкими фракциями обозначено через S_2 . Начальное условие задачи в [7] дано выражением

$$S_1 + S_2 = \int_0^x f(x) dx + (\delta_{\max} - x) - \int_x^{\delta_{\max}} f(x) dx,$$

где $f(x)$ – зависимость извлечения фракций с плотностью x в отходы. Будем также иметь в виду, что в пределах интегралов подразумевается $x = \delta_p$, δ_p – плотность разделения, от величины максимальной плотности δ_{\max} отнимается величина $x = \delta_p$ и в последнем интеграле приписан дифференциал dx , чем устраняем только формальные ошибки, допущенные в [7]. Принципиальная ошибка заключается в том, что площади S_2 приписан положительный знак. Если исправить эту ошибку, то вместо предыдущего выражения получим

$$S_1 + S_2 = \int_0^{\delta_p} f(x) dx - (\delta_{\max} - x) + \int_{x=\delta_p}^{\delta_{\max}} f(x) dx$$

Далее по методике [7] отыскивается минимум представленного выражения явным дифференцированием его правой части. Результат представлен «странным» выражением $f(x) = 1/2$. Если же устранить указанные ошибки в промежуточных выкладках [7], то вместо предыдущего получим $f(x = \delta_p) = 1/2$, т.е. что при плотности $x = \delta_p$ извлечение раздельной фракции $\alpha(\delta_p) = f(x = \delta_p)$ якобы составляет точно 1/2.

Однако, верна ли сама постановка задачи в [7]? Проверим это. Дифференцирование левой

части обговорюваної залежності з умовою досягнення (якоби!) її мінімуму (а іменно нуля) сразу даєть відповідь на цей питання:

$$\frac{dS_1}{d\delta_p} + \frac{dS_2}{d\delta_p} = 0.$$

Це умовою компенсації зменшення площі S_1 збільшенням площі S_2 . Ввиду того, що функція $f(x)$ неперервна і визначена в інтервалі $0 \leq f(x) \leq 1$, площа S_1 визначена зверху функції $f(x)$, а площа S_2 визначена знизу функції $f(x)$, збільшення площі S_2 буде рівно зменшенню площі S_1 іменно при $f(x)=1/2$. Як бачимо, рішення задачі не пов'язано з видом функції $f(x)$, тому повинні зробити, що постановка задачі в [7] принципово невірна.

Таким чином, слід визнати, що поняття роздільної фракції або роздільної крупності в збагачувальній технології не сформульовано, питання прогнозного описання характеристик продуктів сепарації по фізичному фактору розділення, т.е. теорія сепарації по фізичному фактору розділення, потребує спеціального обґрунтування. Проблемність ситуації складає в тому, що сепараційні характеристики вдасться представляти тільки числовими функціями, для візуалізації яких необхідно застосовувати ЕВМ.

3. Постановка задачі

Фракційна характеристика продукту сепарації характеризується сепарабельністю більшою, ніж у теоретичного (лабораторного) продукту, але меншою, ніж деяка максимальна, не сформульована явно в теорії сепарації [8]. Тому приймаємо

Постулат: Розподілення фракцій продукту найгіршої сепарації є точним зображенням розподілення фракцій вихідного матеріалу в межах виходу отриманого продукту.

Прийняттям цього постулату виключаємо з розгляду випадки спотворення вказаної межі деякими спеціальними прийомами.

Вивчимо можливості застосування визначеної таким чином граничної характеристики розподілення фракцій.

В якості вихідних даних для розрахунку приймаються:

λ_p - задана зольність розділення;

$\gamma_u(\lambda)$ - *area*-ном інтегральної функції густоти розподілення зольності λ вихідного продукту, пов'язаною з густиною як $\lambda(\delta)$;

γ_k - вихід концентрату теоретичного, визначається через λ_p по $\gamma_u(\lambda)$;

γ_u - вихід вихідного продукту, все в частках одиниці.

По цим даним знайдемо нижню (*inf*) і верхню (*sup*) межі розподілення фракцій концентрату: нижня межа розподілення фракцій найгіршого концентрату

$$\inf \gamma_k(\lambda, \lambda_p) = \gamma_u(\lambda) \cdot \sup \gamma_k(\lambda = \lambda_p, \lambda_p) \cdot \gamma_u^{-1}(\lambda = \lambda_{\max}) \quad (1)$$

є зображенням розподілення фракцій вихідного в концентрат як би без збагачення, і верхня межа як виділення фракцій з максимальною точністю сепарації

$$\sup \gamma_k(\lambda, \lambda_p) = 0,5 \left\{ \gamma_u(\lambda = \lambda_p) + \gamma_u(\lambda) - \left| \gamma_u(\lambda = \lambda_p) - \gamma_u(\lambda) \right| \right\}. \quad (2)$$

Ставиться задача: по описанню верхньої і нижньої межі «області максимальних можливих помилок розділення» визначити величину вилучення роздільної фракції в продукт сепарації.

Приймаємо, що отождествленням $\gamma_k \equiv \gamma_m$ - вихід дрібного продукту, $\lambda_p \equiv \delta_p$ - крупність розділення, результати дослідження фракційних характеристик повністю переносяться на описання гранулометричних характеристик.

4. Метод решения задачи

По принятому в работе способу описания этих характеристик все они будут представлены кусочно-линейными функциями. Между кривыми по (2) и (1) простым вычитанием определяется треугольник «максимальных возможных ошибок», при этом (1) рассматривается как основание этого треугольника, которое легко выровнять.

Вершинка этого треугольника даёт «нормированную ошибку разделения» реального процесса, а так как основание этого треугольника параллельно основанию треугольника «максимальных возможных ошибок», то последнее и определяет извлечение разделительной фракции в продукт. Здесь предлагается

Теорема: Даны фракционные характеристики исходного материала $\gamma_u(\lambda)$ и продукта $\gamma_{prod}(\lambda)$. Если засорение продукта локальное, то извлечение разделительной фракции в продукт составляет величину

$$\varepsilon_{prod}(\lambda_p) = \gamma_{prod} \cdot \gamma_u^{-1} \quad (3)$$

Доказательство. Так как при локальном засорении «основание треугольника погрешности» располагается параллельно кривой $\gamma_{ки}(\lambda)$ по (1) и производная от $\gamma_{prod}(\lambda)$ равна производной от функции по (1), а извлечение фракций по определению выражается отношением производных

$$\varepsilon_{prod}(\lambda) = \frac{d\gamma_{prod}(\lambda)/d\lambda}{d\gamma_u(\lambda)/d\lambda} \quad (4)$$

то, раскрывая здесь числитель для $\lambda = \lambda_p$, получаем (3).

Теорема доказана.

5. Результаты экспериментального исследования

Построение характеристики извлечения показано на рис.1.

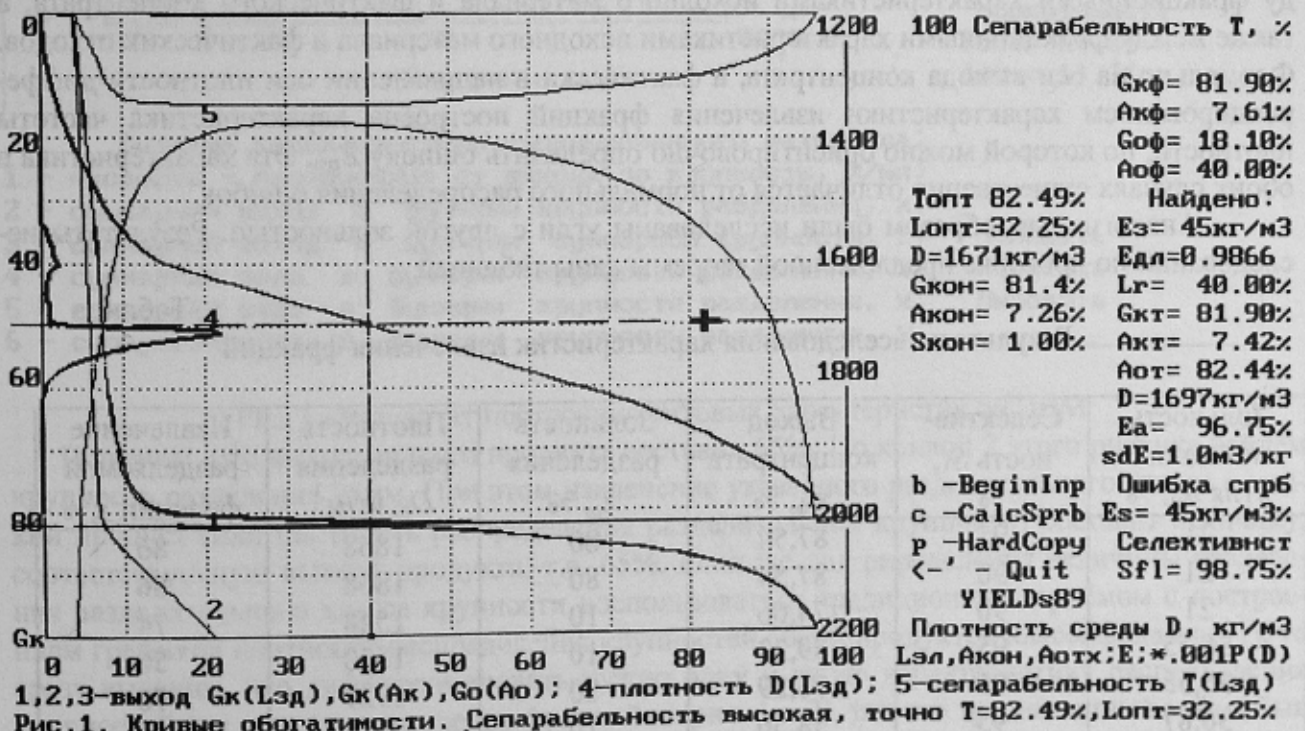
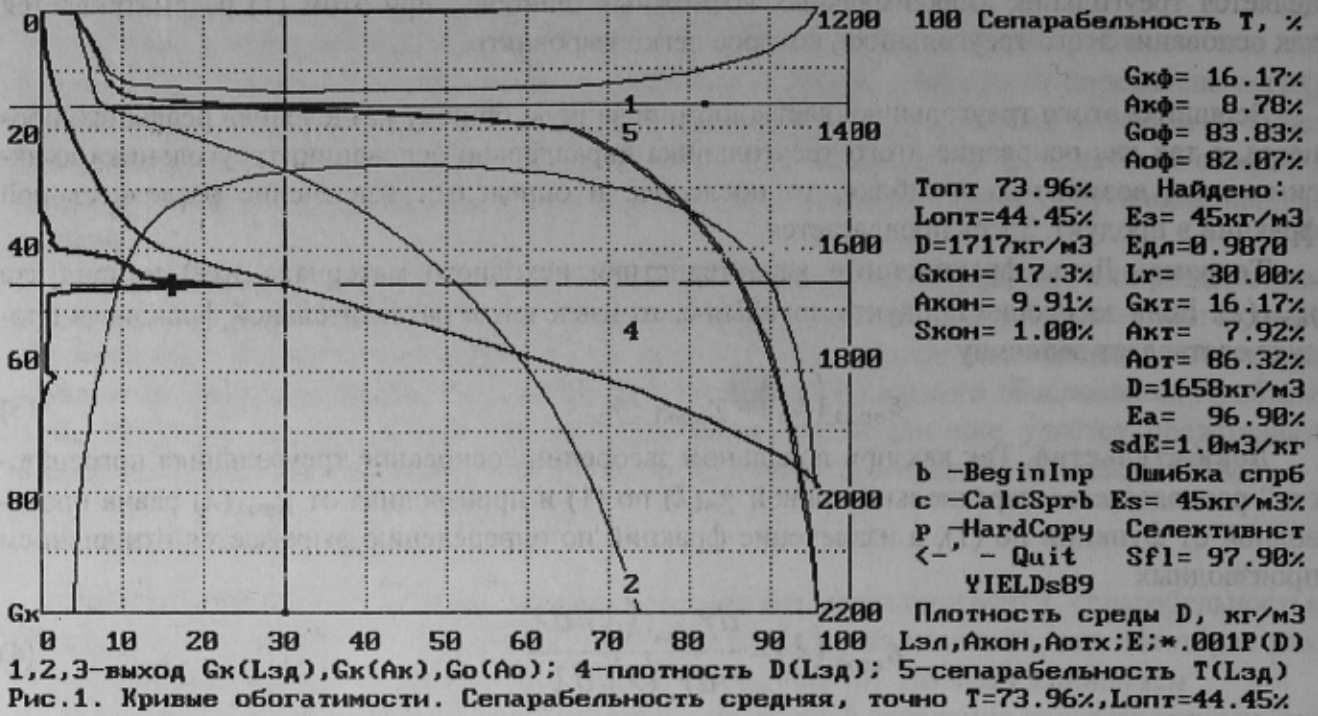


Рис.1 – Характеристика извлечения для угля с зольностью 21,00%

На этом рисунке крестиком отмечена величина извлечения разделительной фракции в концентрат. Процесс проведен при заданной зольности разделения 40%. При этом плотность разделения составила 1697 кг/м³.

Аналогичная характеристика для зольности 73,65% показана на рис.2.



Как видим, в обоих случаях величина извлечения разделительной фракции в концентрат совпадает с выходом концентрата. В верхней части этих рисунков показана область возможных максимальных ошибок, конфигурация которой существенно зависит и от зольности исходного угля, и от заданной зольности разделения. Там же наблюдается маленький затемнённый треугольник фактических ошибок разделения. Этот же треугольник виден и между фракционными характеристиками исходного материала и фактического концентрата, а также между фракционными характеристиками исходного материала и фактических отходов. Формально на оси выхода концентрата, а фактически в направлении оси плотности дифференцированием характеристики извлечения фракций построена характеристика частоты плотности, по которой можно ориентировочно определить ошибку E_{pm} . Эта характеристика в обоих случаях существенно отличается от нормального распределения ошибок.

Аналогичным образом были исследованы угли с другой зольностью. Результаты исследований по проверке предложенной теоремы даны таблицей.

Таблица

Результаты исследования характеристик извлечения фракций

Зольность исходного угля $A_{и}$, %	Селективность S_{λ} , %	Выход концентрата $\gamma_{кф}$, %	Зольность разделения λ_p , %	Плотность разделения D_p , кг/м ³	Извлечение разделяемой фракции ε , %
21	95	87,54	80	1868	86
21	90	87,54	80	1868	86
21	90	74,06	10	1548	74
36,55	95	59,33	10	1590	56
36,55	95	70,29	80	1929	70
36,87	95	58,56	10	1526	58
36,87	95	82,98	90	2063	80

Из сопоставления данных третьей и шестой граф представленной таблицы установлено, что во всех случаях с ошибкой -1,47% проявляется соотношение $0,98 \pm 0,0157$ между извлечением фракции в точке разделения и выходом концентрата, что соответствует формуле (3).

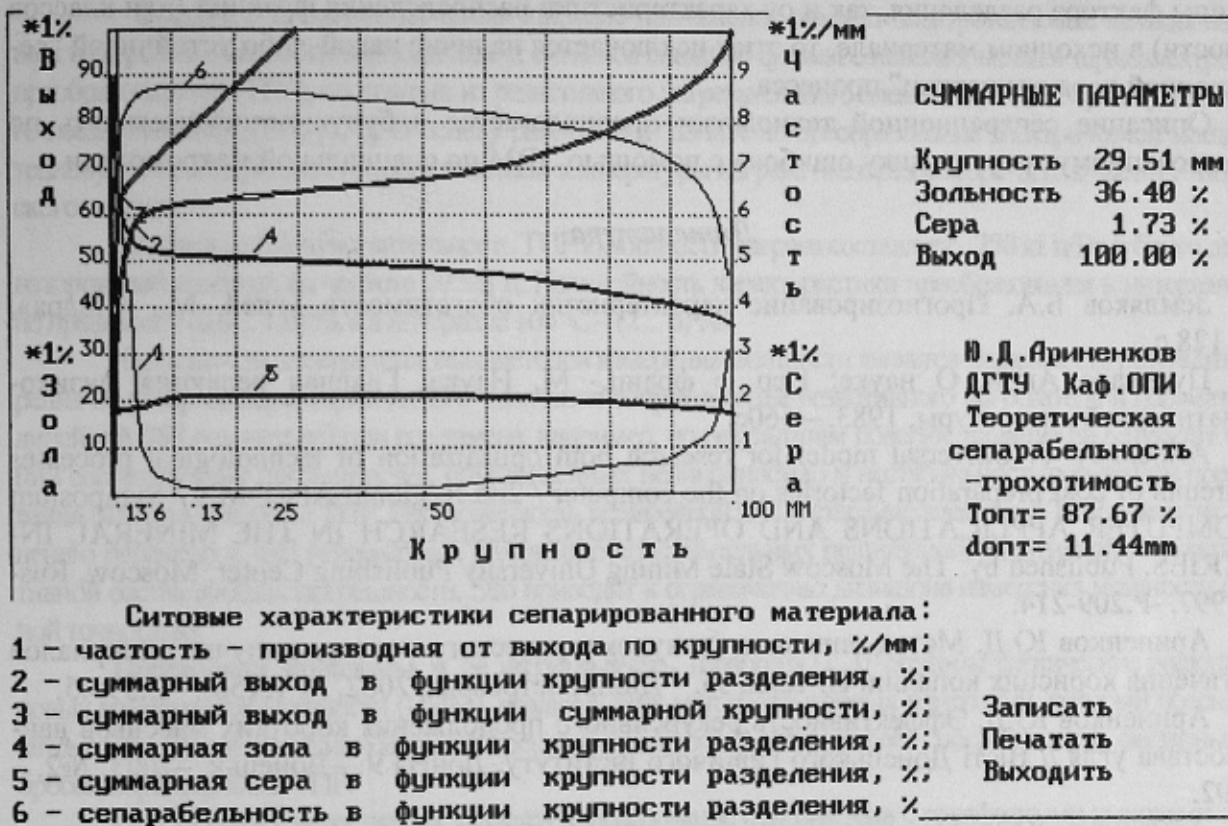
Таким образом, зависимость (3) следует считать закономерностью сепарационного процесса.

Установленная закономерность полностью справедлива и для классификационного процесса. Для определения крупности разделения достаточно знать гранулометрическую характеристику исходного сыпучего материала и выход мелкого продукта.

Выход мелкого продукта определяется или весовым методом, или по балансовым уравнениям на основании предварительно вычисленных средневзвешенных крупностей исходного материала и полученных продуктов.

Практически такую задачу удобно решать с помощью специальной программы построения ситовых характеристик, которая вычисляет средневзвешенную крупность прошедшего через сито материала и строит соответствующий график.

Пример определения крупности разделения и величины извлечения разделительного класса в мелкий продукт поясняется по рис.3.



Ситовые характеристики сепарированного материала:

- 1 - частость - производная от выхода по крупности, %/мм;
 - 2 - суммарный выход в функции крупности разделения, %;
 - 3 - суммарный выход в функции суммарной крупности, %;
 - 4 - суммарная зола в функции крупности разделения, %;
 - 5 - суммарная сера в функции крупности разделения, %;
 - 6 - сепарабельность в функции крупности разделения, %
- Записать
Печатать
Выходить

Рис.3 - Результат построения ситовых характеристик на ЭВМ

Положим, что выход мелкого продукта составил 65%. По кривой 2 этого рисунка найдём крупность разделения 25мм. При этом извлечение указанного разделительного класса в мелкий продукт (или плотность распределения разделительной крупности) составит величину, соответствующую выходу продукта, т.е. 65%. Если же для определения величины извлечения разделительного класса крупности воспользоваться традиционным приёмом с построением графиков плотности распределения крупностей обеих продуктов классификации [1], то сразу выясним, что дифференцировать нужно одну и ту же характеристику распределения крупностей (см. кривые извлечения фракций на рис. 1 и 2), так что традиционный метод был порождением неточного построения характеристик распределения крупности в продуктах.

Выводы

1. Из анализа литературных источников установлено, что в обогащательной технологии отсутствует корректное определение характеристики физического фактора разделения. Поэтому вопрос прогнозного описания характеристик продуктов сепарации, т.е. теория сепарации по физическому фактору разделения, требует специального обоснования. Поставлена задача по определению такого фактора и дано её решение.

2. Исходным условием для определения величины извлечения разделительной фракции или разделительного класса крупности является утверждение, что распределение фракций (или классов крупности) продукта наилучшей сепарации является точным отображением распределения фракций (или классов крупности) исходного материала в пределах выхода полученного продукта.

3. Установлено, что извлечение разделительной фракции в продукт сепарации соответствует выходу этого продукта. Это утверждение одинаково справедливо как для разделения продуктов по фракциям, так и для разделения по крупности и является закономерностью сепарационного процесса.

4. Так как установленная закономерность носит переменный характер, зависит как от величины фактора разделения, так и от характеристики распределения фракций (или классов крупности) в исходном материале, то этим исключается наличие какой-либо устойчивой "сепарационной характеристики" процесса.

5. Описание сепарационной технологии предполагается в будущем осуществлять по «нормированному треугольнику ошибок» с помощью ЭВМ по специальной макромоделю.

Литература

1. Земляков Б.А. Прогнозирование характеристик обогатимости углей. М., «Недра», 1978, 128 с.

2. Пуанкаре Анри. О науке: Пер. с франц.- М. Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1983. – 560с.

3. Arinenkov Y. Universal model for research both optimization of technological processes and circuits of coal preparation factories on the computer / 2nd Regional APCOM'97 Symposium on COMPUTER APPLICATIONS AND OPERATIONS RESEARCH IN THE MINERAL INDUSTRIES. Published by: The Moscow State Mining University Publishing Center. Moscow, Russia - 1997. -P.209-214.

4. Ариненков Ю.Д. Метод описания гранулометрического состава сыпучих материалов // Збагачення корисних копалин: Н.-техн. зб. – Дніпропетровськ, 2002. № 15(56). –С.39-45.

5. Ариненков Ю.Д. Эффективность рекурсивного продолжения коротких массивов данных состава угля // Вісті Донецького гірничого інституту. ДонНТУ. –Донецьк. –2003. №2. – С.88-92.

6. Ариненков Ю.Д. Методы анализа и синтеза показателей обогатимости полезных ископаемых / В кн. Применение ЭВМ и математических методов в горных отраслях промышленности. Труды 17-го Международного симпозиума APCOM'80. М., Недра, 1982. Т.2. -С.364, 447-451.

7. Кирнарский А.С., Егурнов И.И. Аутогенные свойства разделительной среды при обогащении угля // Збагачення корисних копалин: Н.-техн. зб. - Дніпропетровськ, 2000. №7(48). - С.39-46.

8. Ариненков Ю.Д. Макромодель схемы обогащательной технологии // Наукові праці Донецького державного технічного університету. Серія: Гірничо-електромеханічна. – Донецьк. –2001. Випуск 27. –С.7-17.