

Загальні питання технології збагачення

УДК 622.

И.К. МЛАДЕЦКИЙ, д-р техн. наук,
И.П. КОВАЛЬ

(Украина, Днепропетровск, Национальный горный университет)

ОБРАБОТКА ДАННЫХ ДЛЯ СОСТАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО БАЛАНСА

Материальный баланс для предприятия весьма прост и сравнивает две величины: количество пришедшего на предприятие материала W_{BX} и количество покинувшего его в виде изделий $W_{ВЫХ}$. Обоганительное производство, как правило, мокрое и измерить расход твердого составляет значительные трудности. Из-за этого прибегают к определению качественных показателей, например, к содержанию ценного компонента.

Допустим, что на предприятие поступает ценный компонент в количестве $W_{BX}\alpha_{II}$, где W_{BX}, α_{II} – валовое количество сырья и массовое содержание ценного компонента в нем. Количество выходных продуктов в обоганительной технологии как минимум два: обогащенный продукт с содержанием ценного компонента β_K в количестве W_K (концентрат) и обедненный продукт W_X, ν_X (хвосты). Тогда баланс ценного компонента очевиден:

$$W_{BX}\alpha_{II} = W_K\beta_K + W_{XB}\nu_{XB}.$$

Отношение $\frac{W_K}{W_{BX}} = \gamma$ – выход продукта, а поскольку выходных величин

всего две, то $\frac{W_X}{W_{BX}} = 1 - \gamma$ – выход второго продукта.

Обоганительные процессы имеют существенную долю случайной составляющей и поэтому величины W_{BX}, W_K, W_{XB} накапливаются за длительный промежуток времени. Касается это и величин $\alpha_{II}, \beta_K, \nu_{XB}$.

Согласно законам математической статистики, средние величины являются неслучайными характеристиками случайных величин. Следовательно, необходимо пользоваться усредненными показателями. Теперь весь вопрос сосредотачивается в том, каким образом проводить осреднение показателей?

На обоганительном предприятии, согласно технологическому регламенту, выполняются часовые опробования. В результате накапливаются показатели. Предположим, что по упомянутым основным показателям составлено три

Загальні питання технології збагачення

случайных процесса, и которые – стационарны (таблица).

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$\alpha \cdot 10^{-1}$	30	31	28	34	30	38	30	40	42	30	30	35	32	30	30
$\beta \cdot 10^{-1}$	42	47	48	47	46	44	42	42	43	45	47	46	47	45	42
$\nu \cdot 10^{-1}$	16	18	16	15	13	12	12	12	13	17	16	15	12	13	15

Проведем вначале осреднение каждой величины за заданный промежуток времени, и далее будем вести осреднение методом скользящего среднего. Тогда выход продукта будет определен по осредненным данным:

$$\bar{\alpha}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=j}^{j+n} \alpha_i, \quad \bar{\beta}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=j}^{j+n} \beta_i, \quad \bar{\nu}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=j}^{j+n} \nu_i, \quad \gamma_j = \frac{\bar{\alpha}_j - \bar{\nu}_j}{\bar{\beta}_j - \bar{\nu}_j}, \quad n=1,2,\dots$$

При малых значениях n дисперсия выхода значительна и возникают случаи, когда выход больше единицы. Затем, с увеличением n , дисперсия снижается, значение выхода стабилизируется и при $n \rightarrow \infty$ дисперсия стремится к 0, а выход – к единственному значению, которое вычисляется на основании параметров:

$$\bar{\alpha} = \int_0^{\infty} \alpha f(\alpha) d\alpha, \quad \bar{\beta} = \int_0^{\infty} \beta f(\beta) d\beta, \quad \bar{\nu} = \int_0^{\infty} \nu f(\nu) d\nu,$$

где $f(\alpha), f(\beta), f(\nu)$ – дифференциальные функции распределения соответствующих величин.

Таким образом, истинное значение выхода продукта можно получить только за длительный промежуток времени (несколько дней) при условии стационарности процессов: $\bar{\alpha} = const, \bar{\beta} = const, \bar{\nu} = const$. Определение выхода по средним значениям дало значение $\gamma = 0,645$.

Если провести сначала вычисления выхода на основании мгновенных

значений показателей $\gamma_i = \frac{\alpha_i - \nu_i}{\beta_i - \nu_i}$, а затем уже потом проводить осреднение

$$\bar{\gamma}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=j}^{j+n} \gamma_i$$

выхода: то значение выхода $\gamma = 0,6$. Такое расхождение получено по той причине, что связь между выходом и показателями качества является нелинейной. Откуда следует, что в случае нелинейной функции, вычисления по средним значениям аргументов не дают среднего значения функции.

Загальні питання технології збагачення

Необходимо вычислять мгновенные значения функции, а потом уже производить усреднение.

Рассмотрим процессы (см. таблицу) с позиций статистической динамики.

Случайный процесс практически полностью характеризуется корреляционными функциями. Для получения достоверной информации необходимо данные к расчету принимать в соответствии с временем эквивалентного запаздывания τ_{XV} , которое соответствует наибольшему абсолютному значению взаимокорреляционной функции. Так для процессов α_{II}, β_K $\tau_{\alpha\beta} = 5ч$, а для α_{II}, v_{XB} $\tau_{\alpha v} = 3ч$. С учетом этого выход продукта вычисляется по соотношению

$$\gamma_i = \frac{\alpha_i - v_{i+n1}}{\beta_{i+n2} - v_{i+n1}}, \quad n_1 = \frac{\tau_{\alpha v}}{\Delta t}, \quad n_2 = \frac{\tau_{\alpha\beta}}{\Delta t}.$$

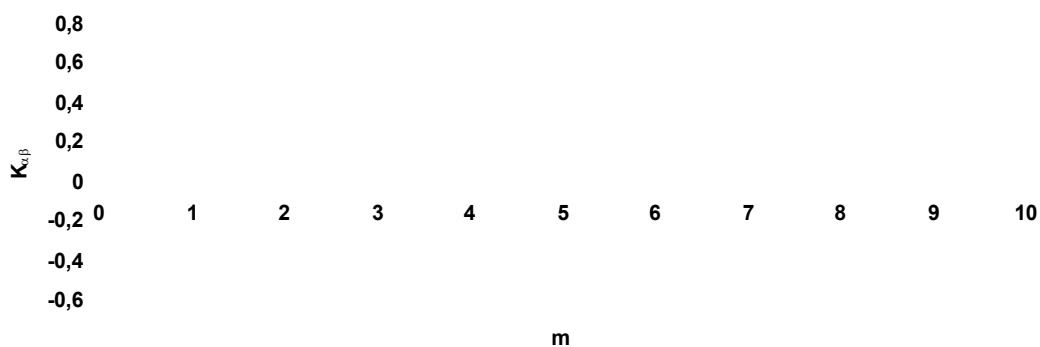
Как видим, к расчету принимаются мгновенные (часовые) наблюдения, но смещенные на периоды эквивалентного запаздывания.

Поскольку для технологии обогащения существует закон, что с увеличением α_{II} увеличиваются и β_K , и v_{XB} , то корреляция между α_{II}, v_{XB} и α_{II}, β_K , положительная, что подтверждается и корреляционными функциями (рисунок).

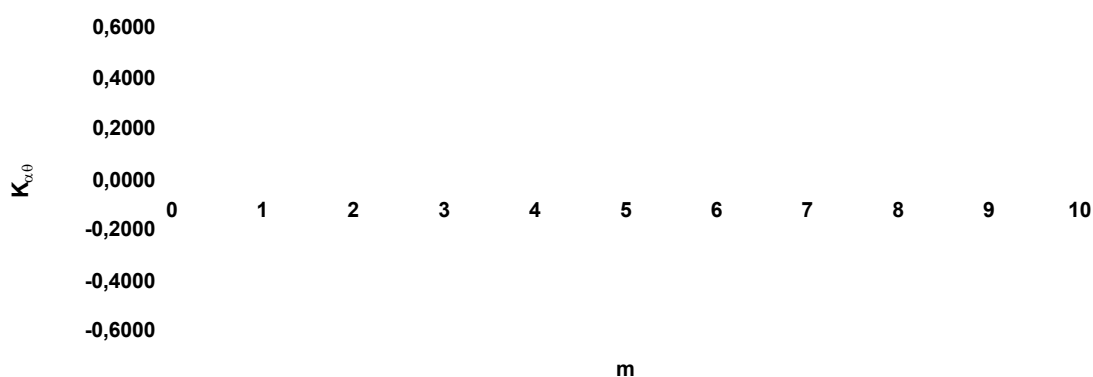
Начальные значения этих функций отрицательные, что говорит об обратной зависимости между упомянутыми парами переменных в начальные моменты времени и, как следствие, уменьшением выхода обогащенного продукта. Таким образом, пока корреляционные функции отрицательные и не достигли максимума, γ_i всегда меньше истинного значения. Из этого следует, что исчисленное путем осреднения, значение выхода всегда меньше истинных значений γ_{IIi} : $\gamma_{IIi} > \gamma_i$. С увеличением времени осреднения различие снижается и только при $n \rightarrow \infty$, $\gamma_{IIi} - \gamma_i \rightarrow 0$. Так, для данных таблицы вычисление выхода по усредненным показателям дает значение $\gamma = 0,06$. Когда сделана выборка результатов с учетом запаздывания, то значения выхода получается 0,62. Таким образом, истинное значение выхода получается выше исчисленного по усредненным показателям.

Загальні питання технології збагачення

ВЗАИМОКОРРЕЛЯЦИОННАЯ ФУНКЦИЯ



ВЗАИМОКОРРЕЛЯЦИОННАЯ ФУНКЦИЯ



Корреляционные функции технологической линии

Поскольку выдержать условие стационарности в течение нескольких дней никогда не удастся, то всегда наблюдается условие $\gamma_{Ii} > \gamma_i$.

Обнаруживается это расхождение только при условии, что отчетность по технологическому балансу чаще, чем по товарному балансу. Технологический баланс подводится на основании расчета выхода, а товарный подводится по результатам взвешивания почти сухой массы, поэтому имеет меньшую погрешность.

В случае нестационарных процессов, взаимокорреляционная функция зависит от начала отсчета и не характеризует весь процесс, а только его часть и поэтому установившихся значений параметров технологии нет, а значит, усреднением показателей нельзя выйти на истинное значение выхода. Однако, процессы обогащения нельзя полностью отнести к нестационарным, так как они имеют участки относительной стационарности, поэтому их следует относить к классу неэргодических.

Таким образом, несоответствие в оценках выхода по результатам расчета технологического баланса и измеренного товарного баланса приводит к

Загальні питання технології збагачення

появлению неучтенного количества продукта, т.е. к невязке. Последняя вычисляется как разность между выходным количеством и входным: $K = W_{ВЫХ} - W_{ВХ}$, и получается всегда отрицательной, что указывает на то, что количество произведенного продукта всегда больше, а значит, методика определения выхода обогащенного продукта должна учитывать эквивалентные запаздывания между технологическими потоками.

Из изложенного следует, что невязка формируется на каждом этапе передачи сырья от производителя к потребителю. Горняки контролируют качество сырья довольно редко. Обогащители выполняют часовые опробования, т.е. очень часто. Отгрузку контролируют в соответствии со стандартом, т.е. 16 проб на пульмановский вагон, т.е. наиболее скрупулезно. Получая на основании опробования средние значения показателя качества и взвешивая отгрузку можно достаточно точно определить количество ценного компонента, покинувшего производство. Следовательно, источником появления невязки являются способы отчетности карьера и обогащительного производства. Так как обогащительная фабрика осуществляет входной и выходной часовые контроли, то главным источником невязки является именно ее методика опробования. Эту методику можно охарактеризовать, теперь уже ясно, усредненным выходом γ и таким же, но выполненным с учетом эквивалентного запаздывания – γ_{II} . В результате невязка может быть оценена как:

$$\Delta = K_{ВХ} (\gamma_{II} - \gamma)$$

где $K_{ВХ} = \int_0^T Q(t) dt$ – объем сырья пришедшего на обогащительную фабрику, $Q(t)$ – расход сырья, который фиксируется входным контролем.

Обычно $\gamma_{II} > \gamma$ и поэтому невязка – положительная. Здравый смысл и закон сохранения масс подсказывают, что невязка должна быть отрицательной, т.е. масса продукта на выходе фабрики не может превышать массу продукта на входе фабрики. Однако, вычисления по результатам опробования [1], дают, как правило, невязку одного знака. Особенно это заметно для обогащения руд с малым содержанием ценного компонента. Получается, что фабрика выпускает ценного компонента в большем количестве, чем его содержится во входном потоке. Эти экспериментальные исследования подтверждают правильность предложенной методики оценки технологического баланса с учетом эквивалентного запаздывания показателей потоков, которые входят в расчетные соотношения.

Список литературы

1. **Козин В.З.** Контроль технологических процессов обогащения. – Екатеринбург: УГГУ, 2003. – 161с.

© Младецкий И.К., Коваль И.П., 2005

Надійшла до редколегії 05.09.2005 р.

Рекомендовано до публікації

УДК 622.

Н.Т. АНИСИМОВ, канд. техн. наук,

В.Н. АНИСИМОВ

(Украина, Днепропетровск, Национальный горный университет)

ОСОБЕННОСТИ ОБОГАЩЕНИЯ УГЛЕЙ НА ГРУППОВЫХ, ЦЕНТРАЛЬНЫХ И ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИКАХ

Практически 80% запасов угля в Украине содержится в пластах малой мощности, менее одного метра. При разработке таких пластов получать товарный продукт требуемого качества не представляется возможным, из-за засорения угля вмещающими породами, обусловленного присечкой боковых пород. В этом случае решить проблемы качества возможно по нескольким направлениям – путем создания выемочной техники для отработки тонких пластов, внедрения индивидуального обогащения или совершенствования надлежащим образом процесса обогащения на групповых и центральных фабрик.

В процессе обогащения имеют место значительные потери товарной угольной продукции. Такое заключение следует из анализа данных относительно технологии и оборудования, например, ежегодные отчеты "Справочник показателей качества, объемов добычи угля и выпуска продуктов обогащения", научно-исследовательские отчеты и другая литература. К большому сожалению, факт потери угля в таких источниках умалчивается, или не усматривается. В свое время при проектировании центральных и групповых обогатительных фабрик уголь для каждой фабрики подбирался по сходимости характеристик и закреплялся за ними. Потери горючей массы в этом случае обуславливались только погрешностями работы обогатительного оборудования. В настоящее время взаимосвязь шахт и фабрик для совместной, предусмотренной проектом работы не обязательна, шахты поставляют уголь на любые обогатительные фабрики. Причем, качественно-количественные показатели продуктов обогащения регламентируются заключаемым договором.

Загальні питання технології збагачення

Такое состояние способствует росту потерь, причем потери товарной продукции, которые в разной степени несут угледобывающие предприятия – шахты.

Рассмотрим это на примере. Угли добываются двумя шахтами, которые впоследствии подвергаются совместному или разделному обогащению на ЦОФ, ГОФ или ИОФ.

Как для первой, так и для второй шахты общая зольность рядового угля равна 48%.

Согласно данному параметру, в угле первой шахты содержится 48% негорючей массы и 52% горючей. Если взять 1000 т угля, то в ней будет 480 т породы и 520 т угля.

Для второй шахты при указанной зольности 48% распределение горючей и негорючей составляющих будет идентично.

Однако, нельзя предварительно утверждать, что в процессе обогащения этих углей будут получены продукты с одинаковыми показателями по качеству и количеству.

В существующей теории и практике просчитать показатели, которые будут получены в результате отдельного или совместного обогащения углей не составляет труда. Методики таких расчетов общеприняты и вроде бы не вызывают сомнений. И в этом очень большая ошибка. Если расчет показателей для одной шахты будет идентичен с практическими результатами, то при совместном обогащении несходимость весьма существенна. Следует сразу отметить, что при таком состоянии в промышленности одни предприятия имеют необоснованную прибыль, а другие, соответственно, необоснованные убытки.

В качестве доказательства рассмотрим этот вопрос несколько иначе. Уголь, поставляемый на обогащение, состоит из частиц угля – горючей массы и частиц породы – негорючей массы. Состав угля первой и второй шахт приведен в табл. 1 и 2 соответственно.

В результате разделного обогащения получены следующие результаты:

Таблица 1

Характеристика угля первой шахты		
Составляющая	Выход γ_1 %	Зольность A_i^d %
Уголь	50,0	4,0
Порода	50,0	92,0
Рядовой уголь	100,0	48,0

для первой шахты: если оперировать составляющими рядового угля, то при общей зольности 48,0% на те же 1000 т уголь содержит 500 т горючей массы вместо 520 т и 500 т негорючей – вместо 480 т;

Таблиця 2

Характеристика угля второй шахты		
Составляющая	Выход γ_1 %	Зольность A^d_i %
Уголь	40,9	9,0
Порода	59,1	75,0
Рядовой уголь	100,0	48,0

для второй шахты: при общей зольности 48,0% на те же 1000 т уголь содержит 409 т горючей массы вместо 520 т и 591 т негорючей – вместо 480 т.

Если уголь обогащать совместно, то при этом будут получены результаты, которые между шахтами разделят в соответствии с их долевым участием. Для совместного обогащения рассчитывается суммарная характеристика, которая приведена в табл. 3.

Таблиця 3

Суммарная характеристика угля		
Составляющая	Выход γ_1 %	Зольность A^d_i %
Уголь	45,45	6,18
Порода	54,55	82,78
Рядовой уголь	100,0	48,0

Пусть фабрика производит концентрат зольностью 7,5%, тогда его выход составит 46,07%.

Засорение концентрата породой – 0,62%.

Каждая из шахт получит по 46,07% товарной продукции относительно исходного количества.

Если уголь обогащать отдельно:

– показатели первой шахты по выходу концентрата составит 52,07% с указанной зольностью 7,5%;

– первая шахта теряет $50,0 - 46,07 = 3,93\%$ выхода, относительно исходной характеристики ее угля при совместном обогащении, и получит дополнительно $52,07 - 46,07 = 6,0\%$ выхода при условии отдельного обогащения;

– вторая шахта получает за счет первой шахты $46,07 - 40,9 = 5,17\%$ выхода при совместном обогащении;

– продукцию 7,5% зольностью из угля второй шахты при отдельном обогащении получить вообще невозможно.

Приведенные примеры убедительно отражают состояние подходов: совместного или отдельного обогащения и теоретических положений по определению значений показателей.

Из приведенного следует, что обогащение должно быть отдельным – индивидуальным.

Загальні питання технології збагачення

Поскольку в промышленности сложилось так, что практически все обогатительные фабрики объединены в группы, то переход на индивидуальное обогащение потребует колоссальных финансовых затрат. Выполнить это за короткий промежуток времени невозможно. Поэтому есть другой выход, а именно, переработать методику расчета качественно – количественных показателей таким образом, чтобы каждый поставщик получил положенное ему количество готовой продукции. Методика расчета количества и качества продуктов обогащения при групповой переработке реализована программно в системе TEXNOU.

© Анисимов Н.Т, Анисимов В.Н., 2005

*Надійшла до редколегії 26.07.2005 р.
Рекомендовано до публікації*

УДК 778.

И.К. МЛАДЕЦКИЙ, д-р техн. наук,

Т.Н. МАРКОВА

(Украина, Днепропетровск, Национальный горный университет)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ВЫХОДА ДЛЯ СЛОЖНЫХ РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ СХЕМ

Технологическая схема обогащения полезных ископаемых состоит из определенной последовательности операций: подготовки, разделения и смешения. Первоочередной задачей технологического расчета таких соединений является определение извлечения узких фракций в продукты, получаемые во всех операциях схемы.

Основной параметр обогатительного производства – выход продукта при выполнении разделительной операции, который чаще всего вычисляется на основании опробования качественных показателей. При этом неотъемлемой частью процесса контроля является анализ погрешности такого определения. Поскольку обычно процесс разделения является бинарным, то выход определяют по трем показателям. Если известны погрешности измерения каждой из величин, можно определить погрешность выхода. По мере усложнения разделительной схемы вычисление погрешности усложняется.

В случае, когда сложность разделительной схемы заключается в большом количестве обратных связей, аналитические преобразования становятся практически невозможными и единственным способом вычисления погрешности выхода остается численное исследование. При этом проблема

Загальні питання технології збагачення

состоит в определении частных производных от сепарационных характеристик и частных производных от функции распределения частиц по фракциям – для сложной технологической схемы. С усложнением технологической схемы разделения эти производные становятся все более сложными и в определенный момент настолько громоздки, что их анализ практически невозможен. Следовательно, становится невозможным и вычисление погрешности выхода.

В настоящей работе предлагается подход, позволяющий определить искомую погрешность путем применения численных методов.

Сепарационные характеристики $P(\alpha)$ и функции распределения частиц по фракциям $F(\alpha)$ могут быть получены экспериментально. Именно по этой причине погрешности определения по каждой фракции можно считать известными:

$$\sigma_{P_{\alpha_1}}, \sigma_{P_{\alpha_2}}, \dots, \sigma_{P_{\alpha_n}}, \quad \sigma_{F_{\alpha_1}}, \sigma_{F_{\alpha_2}}, \dots, \sigma_{F_{\alpha_n}}.$$

Выход продукта сложной схемы будет вычислен на основании многократного решения системы линейных уравнений баланса продуктов. Предположим вначале, что получено определенное значение γ_1 .

Зная его, даем приращение функции $P(\alpha)$. Например, сдвигаем ее вверх или вниз, и вновь вычисляем выход. Теперь это будет γ_2 .

Для определения погрешности необходимо, чтобы функции $F(\alpha)$ и $P(\alpha)$ имели производные на всем диапазоне α .

В данном случае дифференциал функции

$$\Delta P(\alpha_i) = P_1(\alpha_i) - P_2(\alpha_i), \quad \Delta \Delta F(\alpha_i) = \Delta F_1(\alpha_i) - \Delta F_2(\alpha_i),$$

а дифференциал аргумента

$$\Delta \gamma_P(\alpha_i) = P_1(\alpha_i) \Delta F(\alpha_i) - P_2(\alpha_i) \Delta F(\alpha_i), \quad \Delta \gamma_F(\alpha_i) = P_1(\alpha_i) \Delta F_1(\alpha_i) - P_1(\alpha_i) \Delta F_2(\alpha_i).$$

Оценки производных можно записать следующим образом:

$$\frac{\partial \gamma_P}{\partial P} = \frac{\Delta \gamma_P(\alpha_i)}{\Delta P(\alpha_i)}, \quad \frac{\partial \gamma_F}{\partial F} = \frac{\Delta \gamma_F(\alpha_i)}{\Delta \Delta F(\alpha_i)}.$$

Тогда погрешность от изменения каждой переменной будет складываться из погрешностей определения каждой фракции продукта, поскольку функции $F(\alpha)$ и $P(\alpha)$ интегральные:

Загальні питання технології збагачення

$$\sigma_{\gamma^P}^2 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\Delta\gamma_p(\alpha_i)}{\Delta P(\alpha_i)} \sigma_{p\alpha_i} \right)^2; \quad \sigma_{\gamma^F}^2 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\Delta\gamma_p(\alpha_i)}{\Delta F(\alpha_i)} \sigma_{F\alpha_i} \right)^2.$$

В результате общую погрешность оценки численного выхода запишем как:
 $\sigma_{\gamma}^2 = \sigma_{\gamma^P}^2 + \sigma_{\gamma^F}^2.$

Как пример рассмотрим расчет погрешности выхода для схемы разделения, приведенной на рис. 2, с параметрами сепараторов и питания, показанными на рис. 1.

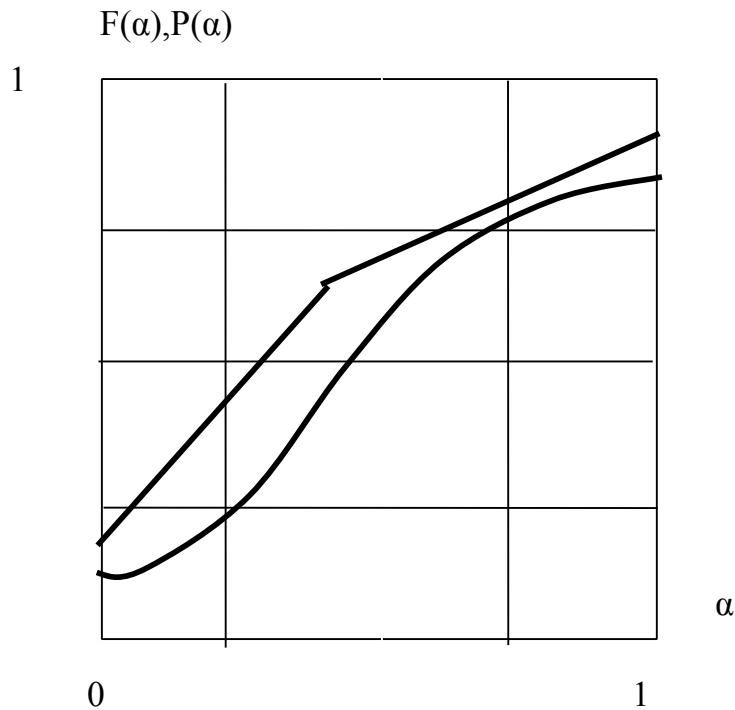


Рис. 1. Сепарационная характеристика аппарата и функция распределения сродков

Загальні питання технології збагачення

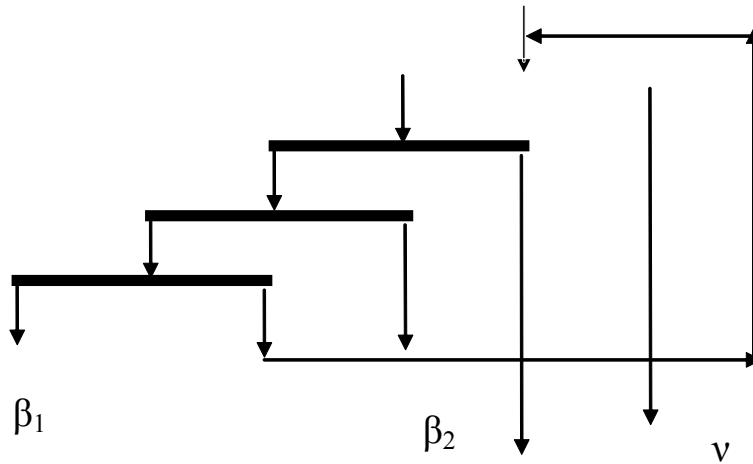


Рис. 2. Схема соединения сепараторов

1. Определяем выход продукта сложной схемы на основании многократного решения системы линейных уравнений баланса продуктов. В результате получили определенное значение γ_1 .

Зная его, сдвигаем функцию $P(\alpha)$ вниз и вновь вычисляем выход – γ_2 .

2. Пользуясь данными уравнениями получаем их решения

$$\Delta P(\alpha_i) = P_1(\alpha_i) - P_2(\alpha_i) ; \quad \Delta F(\alpha_i) = \Delta F_1(\alpha_i) - \Delta F_2(\alpha_i) ,$$

которые заносим в табл. 1.

Таблица 1

α	Значения приращения функций					
	0	0,125	0,375	0,625	0,875	1
$\Delta P(\alpha)$	0,02	0,02	0,06	0,03	0,03	0,05
$\Delta F(\alpha)$	0,08	0,01	0,02	0,01	0	0,04

Вычисляем дифференциал аргумента:

$$\Delta \gamma_p(\alpha_i) = P_1(\alpha_i) \Delta F(\alpha_i) - P_2(\alpha_i) \Delta F(\alpha_i) ; \quad \Delta \gamma_F(\alpha_i) = P_1(\alpha_i) \Delta F_1(\alpha_i) - P_1(\alpha_i) \Delta F_2(\alpha_i) .$$

Полученные значения заносим в табл. 2.

Таблица 2

α	Значения дифференциалов аргумента					
	0	0,125	0,375	0,625	0,875	1
$\Delta \gamma_p(\alpha)$	-0,0046	0,0065	0,023	0,0091	0,0036	0,0358
$\Delta \gamma_F(\alpha)$	-0,0096	0,0015	0,008	0,007	0	0,0328

Загальні питання технології збагачення

Производные функции записываем следующим образом:

$$\frac{\partial \gamma_P}{\partial P} = \frac{\Delta \gamma_P(\alpha_i)}{\Delta P(\alpha_i)} ; \quad \frac{\partial \gamma_F}{\partial F} = \frac{\Delta \gamma_F(\alpha_i)}{\Delta F(\alpha_i)} .$$

Числа, полученные при их вычислении, записываем в табл. 3.

Таблица 3

Значения оценок производных.						
α	0	0,125	0,375	0,625	0,875	1
$\Delta \gamma_P(\alpha)/\Delta P$	-0,23	0,325	0,383333	0,303333	0,12	0,716
$\Delta \gamma_F(\alpha)/\Delta F$	-0,12	0,15	0,4	0,7	0	0,82

Погрешность от изменения каждой переменной вычисляем следующим образом:

$$\sigma_{\gamma_P}^2 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\Delta \gamma_P(\alpha_i)}{\Delta P(\alpha_i)} \sigma_{P\alpha_i} \right)^2 ; \quad \sigma_{\gamma_F}^2 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\Delta \gamma_F(\alpha_i)}{\Delta F(\alpha_i)} \sigma_{F\alpha_i} \right)^2 .$$

Получаем следующие значения погрешности от каждой переменной и записываем их в табл. 4.

Таблица 4

Погрешности переменных						
$\sigma_{\gamma_P}^2$	0,000005	0,000011	0,000015	0,000009	0,000001	0,000051
$\sigma_{\gamma_F}^2$	0,000001	0,000002	0,000016	0,000049	0,000000	0,000067

Теперь можно определить общую погрешность оценки численного выхода:

$$\begin{aligned} \sigma_{\gamma}^2 &= \sigma_{\gamma_P}^2 + \sigma_{\gamma_F}^2 . \\ \sigma_{\gamma}^2 &= 0,000092 + 0,000136 = 0,000228 \\ \sigma_{\gamma} &= 1,5\% . \end{aligned}$$

Эта схема не слишком сложная и поэтому можно еще вычислить погрешность выхода классическим методом. Рассмотрим более сложное соединение и проведем классические и численный анализ погрешности выхода.

Схема разделения представлена на рис. 3, функция распределения сродков и сепарационная характеристика (табл. 1) остаются теми же, что и для предыдущего примера.

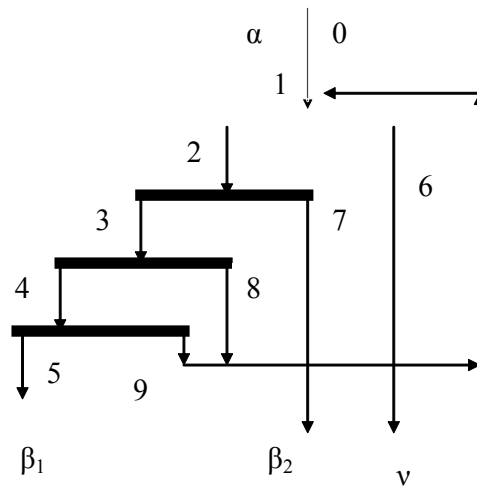


Рис. 3. Технологический разделительный блок

Первоначально необходимо найти выходы всех продуктов. Для этого составляем сепарационные характеристики для каждой точки технологии.

Сепарационная характеристика обратной связи 1

$$P_{oc1} = \frac{1}{1 - P_1 P_2 P_3^1}; \quad P_i^1 = 1 - P_i.$$

Сепарационная характеристика обратной связи 2

$$P_{oc2} = \frac{1}{1 - P_1 P_2 P_3 P_4^1}.$$

Для каждой точки схемы составляется сепарационная характеристика по схеме произведения сепарационных характеристик от входа до требуемой точки:

1.
$$P_1 = \frac{1}{1 - P_1 P_2 P_3^1 - P_1 P_2 P_3 P_4^1 + P_1 P_2 P_3^1 P_1 P_2 P_3 P_4^1},$$
2.
$$P_{11} = \frac{P_1}{1 - P_1 P_2 P_3^1 - P_1 P_2 P_3 P_4^1 + P_1 P_2 P_3^1 P_1 P_2 P_3 P_4^1},$$
3.
$$P_{111} = \frac{P_1 P_2}{1 - P_1 P_2 P_3^1 - P_1 P_2 P_3 P_4^1 + P_1 P_2 P_3^1 P_1 P_2 P_3 P_4^1},$$

Загальні питання технології збагачення

$$4. \quad P_{IV} = \frac{P_1 P_2 P_3}{1 - P_1 P_2 P_3^1 - P_1 P_2 P_3 P_4^1 + P_1 P_2 P_3^1 P_1 P_2 P_3 P_4^1},$$

$$5. \quad P_V = \frac{P_1 P_2 P_3 P_4}{1 - P_1 P_2 P_3^1 - P_1 P_2 P_3 P_4^1 + P_1 P_2 P_3^1 P_1 P_2 P_3 P_4^1},$$

$$6. \quad P_{VI} = \frac{P_1^1}{1 - P_1 P_2 P_3^1 - P_1 P_2 P_3 P_4^1 + P_1 P_2 P_3^1 P_1 P_2 P_3 P_4^1},$$

$$7. \quad P_{VII} = \frac{P_1 P_2^1}{1 - P_1 P_2 P_3^1 - P_1 P_2 P_3 P_4^1 + P_1 P_2 P_3^1 P_1 P_2 P_3 P_4^1},$$

$$8. \quad P_{VIII} = \frac{P_2 P_1 P_3^1}{1 - P_1 P_2 P_3^1 - P_1 P_2 P_3 P_4^1 + P_1 P_2 P_3^1 P_1 P_2 P_3 P_4^1},$$

$$9. \quad P_{IX} = \frac{P_3 P_2 P_1 P_4^1}{1 - P_1 P_2 P_3^1 - P_1 P_2 P_3 P_4^1 + P_1 P_2 P_3^1 P_1 P_2 P_3 P_4^1}$$

Вычислим знаменатель сепарационных характеристик.

α	P	Знаменатель
1	2	9
0	0,12	0,9858
0,125	0,15	0,9781
0,375	0,4	0,8693
0,625	0,7	0,7652
0,875	0,78	0,7757
1	0,82	0,7917

Запишем все сепарационные характеристики, вычисленные согласно вышеприведенным соотношениям.

α	P _I	P _{II}	P _{III}	P _{IV}	P _V	P _{VI}	P _{VII}	P _{VIII}	P _{IX}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	1,0143	0,1217	0,0146	0,0017	0,0002	0,8926	0,1071	0,0128	0,0015
0,125	1,0224	0,1533	0,0230	0,0034	0,0005	0,8690	0,1303	0,0195	0,0029
0,375	1,1503	0,4601	0,1840	0,0736	0,0294	0,6902	0,2760	0,1104	0,0441
0,625	1,3068	0,9147	0,6403	0,4482	0,3137	0,3920	0,2744	0,1921	0,1344
0,875	1,2891	1,0055	0,7843	0,6117	0,4771	0,2836	0,2212	0,1725	0,1345

Загальні питання технології збагачення

5	1,2630	1,0357	0,8492	0,6964	0,5710	0,2273	0,18643	0,1528	0,1253
---	--------	--------	--------	--------	--------	--------	---------	--------	--------

Вычисляем выход и качество в каждой точке технологии, например, в точке 1.

α	P1	ΔF	2*3	1*4	1*3
1	2	3	4	5	6
0	1,0144	0,17	0,172444	0	0
0,125	1,0224	0,26	0,265832	0,033229	0,0325
0,375	1,1504	0,27	0,3106	0,116475	0,10125
0,625	1,3068	0,08	0,104544	0,06534	0,05
0,875	1,2891	0,12	0,154694	0,135357	0,105
1	1,2631	0,1	0,126305	0,126305	0,1
			1,13	0,48	0,389

$$\alpha_{исх}=0,389=0,39, \beta_I=0,42.$$

Аналогично вычисляем для остальных точек технологии. В результате получаем:

$$\begin{aligned} \gamma_2 = 0.45, \beta_2 = 0.64 ; \quad \gamma_3 = 0.29, \beta_3 = 0.76 ; \quad \gamma_4 = 0.2, \beta_4 = 0.82 ; \\ \gamma_5 = 0.15, \beta_5 = 0.85 ; \quad \gamma_6 = 0.65, \beta_6 = 0.26 ; \quad \gamma_7 = 0.19, \beta_7 = 0.45 ; \\ \gamma_8 = 0.09, \beta_8 = 0.62 ; \quad \gamma_9 = 0.05, \beta_9 = 0.72 . \end{aligned}$$

Вычислим частные выходы на каждом приеме сепарации:

$$\begin{aligned} \text{первый:} \quad \gamma_1 &= \frac{0.42 - 0.26}{0.64 - 0.26} = 0,42 ; & \gamma_1^1 &= 1 - \gamma_1 = 0,58 ; \\ \text{второй:} \quad \gamma_2 &= \frac{0.64 - 0.45}{0.76 - 0.45} = 0,61 ; & \gamma_2^1 &= 1 - \gamma_2 = 0,39 ; \\ \text{третий :} \quad \gamma_3 &= \frac{0.76 - 0.62}{0.82 - 0.62} = 0,7 ; & \gamma_3^1 &= 1 - \gamma_3 = 0,3 ; \\ \text{четвертый :} \quad \gamma_4 &= \frac{0.82 - 0.72}{0.85 - 0.72} = 0,77 ; & \gamma_4^1 &= 1 - \gamma_4 = 0,23 . \end{aligned}$$

Функция выхода концентрата составляется аналогично сепарационным характеристикам и имеет вид:

Загальні питання технології збагачення

$$\gamma = \frac{\gamma_1 \gamma_2 \gamma_3 \gamma_4}{1 - \gamma_1 \gamma_2 (1 - \gamma_3) - \gamma_1 \gamma_2 \gamma_3 (1 - \gamma_4) + \gamma_1^2 \gamma_2^2 \gamma_3 (1 - \gamma_3) (1 - \gamma_4)}$$

Сформуируем выражения для частных производных.

В соответствии с вычисленными частными выходами запишем соотношения:

$$\begin{aligned} \gamma_\beta &= \frac{0.329\gamma_1}{1 - 0.281\gamma_1 + 0.018\gamma_1^2}; & \gamma_\beta &= \frac{0.179\gamma_4}{0.923 - 0.193(1 - \gamma_4)}; \\ \gamma_\beta &= \frac{0.226\gamma_2}{1 - 0.194\gamma_2 + 0.0085\gamma_2^2}; & \gamma_\beta &= \frac{0.197\gamma_3}{0.759 + 0.182\gamma_3}. \end{aligned}$$

Вычислим производные по соответствующим выходам.

$$\begin{aligned} \frac{\partial \gamma}{\partial \gamma_1} &= \frac{0.329(1 - 0.281\gamma_1 + 0.018\gamma_1^2) - 0.329\gamma_1(-0.281 + 0.036\gamma_1)}{(1 - 0.281\gamma_1 + 0.018\gamma_1^2)^2} = 0.418; \\ \frac{\partial \gamma}{\partial \gamma_2} &= \frac{0.226(1 - 0.194\gamma_2 + 0.0085\gamma_2^2) - 0.226\gamma_2(-0.194 + 0.017\gamma_2)}{(1 - 0.194\gamma_2 + 0.0085\gamma_2^2)^2} = 0.29; \\ \frac{\partial \gamma}{\partial \gamma_3} &= \frac{0.197(0.759 + 0.182\gamma_3) - 0.182 \cdot 0.197\gamma_3}{(0.759 + 0.182\gamma_3)^2} = 0.19; \\ \frac{\partial \gamma}{\partial \gamma_4} &= \frac{0.179(0.923 - 0.193(1 - \gamma_4)) - 0.179\gamma_4 \cdot 0.193}{(0.923 - 0.193(1 - \gamma_4))^2} = 0.169. \end{aligned}$$

Вычислим далее частные производные от частных выходов $\gamma = \frac{\alpha - v}{\beta - v}$ по соответствующим переменным.

$$\begin{aligned} \frac{\partial \gamma_1}{\partial \alpha} &= \frac{\partial \gamma}{\partial \gamma_1} \frac{\partial \gamma_1}{\partial \alpha} = 0.418 \frac{1}{0.38} = 1,1; & \frac{\partial \gamma_2}{\partial \alpha} &= \frac{\partial \gamma}{\partial \gamma_2} \frac{\partial \gamma_2}{\partial \alpha} = 0.29 \frac{1}{0.31} = 0,93; \\ \frac{\partial \gamma_3}{\partial \alpha} &= \frac{\partial \gamma}{\partial \gamma_3} \frac{\partial \gamma_3}{\partial \alpha} = 0.19 \frac{1}{0.2} = 0,95; & \frac{\partial \gamma_4}{\partial \alpha} &= \frac{\partial \gamma}{\partial \gamma_4} \frac{\partial \gamma_4}{\partial \alpha} = 0.169 \frac{1}{0.13} = 1,3; \end{aligned}$$

Загальні питання технології збагачення

$$\gamma_1 = \frac{0,42 - 0,26}{\beta - 0,26} \quad ; \quad \frac{\partial \gamma_1}{\partial \beta} = \frac{\partial \gamma}{\partial \gamma_1} \frac{\gamma_1}{\partial \beta} = 0,418 \frac{-0,16}{(\beta - 0,26)^2} = -0,46$$

Примем, что $\sigma_\alpha = \sigma_\beta = \sigma_v$. А для определения их численных значений, которые должны быть константами выполним действия, которые поясняются рис.4.

В соответствии с приращениями функций определяем по графику приращения аргумента $\Delta\alpha_i$ для каждого принятого дискретного значения функции. Затем находим среднее значение такого приращения на всем диапазоне изменения α . Это и будет искомым $\overline{\Delta\alpha}$. В данном случае

получилось $\overline{\Delta\alpha} = 0.02$ $\gamma_2 = \frac{0,64 - 0,45}{\beta - 0,45}$. Остальные производные:

$$\frac{\partial \gamma_2}{\partial \beta} = \frac{\partial \gamma}{\partial \gamma_2} \frac{\gamma_2}{\partial \beta} = 0,29 \frac{-0,19}{(\beta - 0,45)^2} = -0,5734$$

$F(\alpha), P(\alpha)$

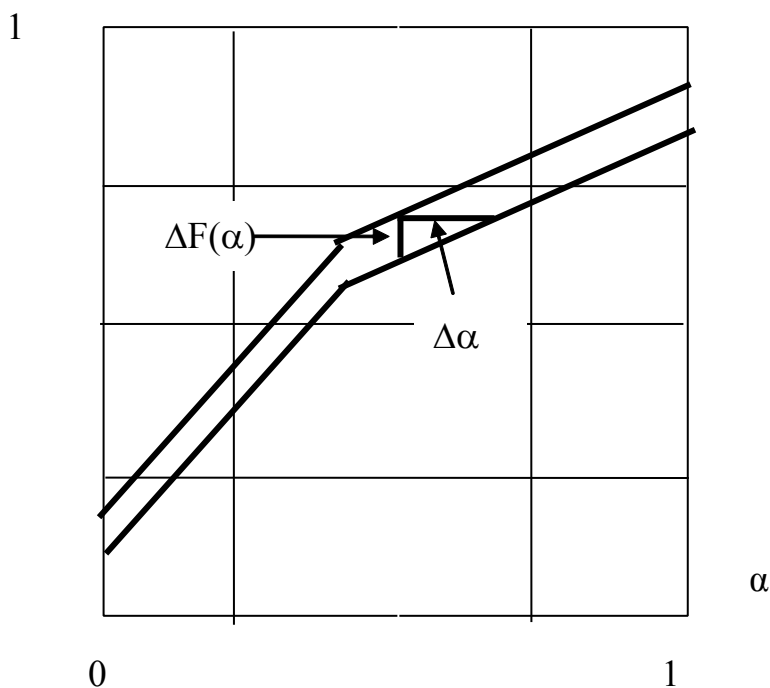


Рис. 4. Схема определения приращений аргумента и функции для численного анализа погрешности выхода

Загальні питання технології збагачення

$$\begin{aligned} \gamma_3 &= \frac{0,76 - 0,62}{\beta - 0,62} ; & \frac{\partial \gamma_3}{\partial \beta} &= \frac{\partial \gamma}{\partial \gamma_3} \frac{\gamma_3}{\partial \beta} = 0,19 \frac{-0,14}{(\beta - 0,62)^2} = -0,665 ; \\ \gamma_4 &= \frac{0,82 - 0,72}{\beta - 0,72} ; & \frac{\partial \gamma_4}{\partial \beta} &= \frac{\partial \gamma}{\partial \gamma_4} \frac{\gamma_4}{\partial \beta} = 0,169 \frac{-0,2}{(\beta - 0,72)^2} = -2 ; \\ \gamma_1 &= \frac{0,42 - v}{0,64 - v} ; & \frac{\partial \gamma_1}{\partial v} &= \frac{\partial \gamma}{\partial \gamma_1} \frac{\partial \gamma_1}{\partial v} = 0,418 \frac{(0,64 - v)(-1) + (0,42 - v)}{(0,64 - v)^2} = -0,637 ; \\ \gamma_2 &= \frac{0,64 - v}{0,76 - v} ; & \frac{\partial \gamma_2}{\partial v} &= \frac{\partial \gamma}{\partial \gamma_2} \frac{\partial \gamma_2}{\partial v} = 0,29 \frac{(0,76 - v)(-1) + (0,64 - v)}{(0,76 - v)^2} = -0,362 ; \\ \gamma_3 &= \frac{0,76 - v}{0,82 - v} ; & \frac{\partial \gamma_3}{\partial v} &= \frac{\partial \gamma}{\partial \gamma_3} \frac{\partial \gamma_3}{\partial v} = 0,19 \frac{(0,82 - v)(-1) + (0,76 - v)}{(0,82 - v)^2} = -0,285 ; \\ \gamma_4 &= \frac{0,82 - v}{0,85 - v} ; & \frac{\partial \gamma_4}{\partial v} &= \frac{\partial \gamma}{\partial \gamma_4} \frac{\partial \gamma_4}{\partial v} = 0,169 \frac{(0,85 - v)(-1) + (0,82 - v)}{(0,85 - v)^2} = -0,3 ; \\ \sigma_{\gamma_1}^2 &= \left(\frac{\partial \gamma_1}{\partial \alpha} \cdot \sigma_\alpha\right)^2 + \left(\frac{\partial \gamma_1}{\partial \beta} \sigma_\beta\right)^2 + \left(\frac{\partial \gamma_1}{\partial v} \sigma_v\right)^2 ; \\ \sigma_{\gamma_1}^2 &= (1,1 * 0,02)^2 + (-0,46 * 0,02)^2 + (-0,637 * 0,02)^2 = 0,001 ; \sigma_{\gamma_1} = 0,032 ; \\ \sigma_{\gamma_2}^2 &= \left(\frac{\partial \gamma_2}{\partial \alpha} \cdot \sigma_\alpha\right)^2 + \left(\frac{\partial \gamma_2}{\partial \beta} \sigma_\beta\right)^2 + \left(\frac{\partial \gamma_2}{\partial v} \sigma_v\right)^2 , \sigma_{\gamma_2} = 0,03 ; \\ \sigma_{\gamma_3}^2 &= \left(\frac{\partial \gamma_3}{\partial \alpha} \cdot \sigma_\alpha\right)^2 + \left(\frac{\partial \gamma_3}{\partial \beta} \sigma_\beta\right)^2 + \left(\frac{\partial \gamma_3}{\partial v} \sigma_v\right)^2 , \sigma_{\gamma_3} = 0,03 ; \\ \sigma_{\gamma_4}^2 &= \left(\frac{\partial \gamma_4}{\partial \alpha} \cdot \sigma_\alpha\right)^2 + \left(\frac{\partial \gamma_4}{\partial \beta} \sigma_\beta\right)^2 + \left(\frac{\partial \gamma_4}{\partial v} \sigma_v\right)^2 ; \sigma_{\gamma_4} = 0,04 . \end{aligned}$$

Функція погрешности составит:

$$\sigma^2_\gamma = \left(\frac{\partial \gamma}{\partial \gamma_1} \sigma_{\gamma_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial \gamma}{\partial \gamma_2} \sigma_{\gamma_2}\right)^2 + \left(\frac{\partial \gamma}{\partial \gamma_3} \sigma_{\gamma_3}\right)^2 + \left(\frac{\partial \gamma}{\partial \gamma_4} \sigma_{\gamma_4}\right)^2 = 0,018$$

Хотя расхождение составляет около 15% ,полагаем, что методика численного анализа погрешности является приемлемой, так как возможности такого анализа практически неограниченны.

УДК. 622.73/74

В.И. ЧМИЛЕВ

(Украина, Макеевка, ЦОФ "Пролетарская"),

Д.А. ПОЛУЛЯХ, д-р техн. наук, **Д.В. ШЕВЧЕНКО**

(Украина, Днепропетровск, Национальный горный университет)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОМПРОДУКТА УГЛЕОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК КАК ОБЪЕКТА ОБОГАЩЕНИЯ

В связи с дефицитом коксующихся углей увеличение выхода коксового концентрата на углеобогадательных фабриках Украины является актуальной задачей. [1]

Одним из путей решения этой задачи – снижение выпуска промпродукта за счёт его повторного обогащения и получения дополнительного выхода коксового концентрата. Для определения целесообразности принятия подобного технического решения необходимо специальное исследование промпродукта углеобогадательных фабрик как объекта обогащения.

Исследованию подвергались промпродукты ЦОФ "Держинская" (ш. "Дуванская", марка угля "Ж", зольность рядового угля 38,8%) и ш. "Юбилейная" (ш. "Дуванская", марка угля "Г", зольность рядового угля 40,2%), ЦОФ "Колосниковская" (ш. "Красноармейско-Западная", марка угля "К", зольность рядового угля 32,8%) и ЦОФ "Пролетарская" (ш. "13-бис", марка угля "К", зольность рядового угля 48,0%).

Шахты выбирались по количеству промпродуктовых фракций в рядовом угле.

Для оценки промпродукта как объекта обогащения определяются следующие показатели:

– степень дробления материала

$$i = d_{\bar{n}\delta.\bar{e}\bar{n}\delta} d_{\bar{n}\delta.\bar{a}\delta}$$

где $d_{\bar{n}\delta.\bar{e}\bar{n}\delta}$ и $d_{\bar{n}\delta.\bar{a}\delta}$ – средний диаметр зерен соответственно исходного и дробленого продуктов;

Загальні питання технології збагачення

– степень раскрываемости промежуточной фракции

$$t = \frac{\gamma_{1,5-1,8 \text{ èñð}} - \gamma_{1,5-1,8 \text{ äð}}}{\gamma_{1,5-1,8 \text{ èñð}}} \cdot 100\%$$

где $\gamma_{1,5-1,8 \text{ èñð}}$ и $\gamma_{1,5-1,8 \text{ äð}}$ – выход фракции 1,5–1,8 т/м³, соответственно, в исходном и дробленом продуктах, %;

– степень шламообразования

$$\ell = \frac{\gamma_{0-1 \text{ äð}} - \gamma_{0-1 \text{ èñð}}}{\gamma_{+1 \text{ èñð}}} \cdot 100\%$$

где $\gamma_{0-1 \text{ èñð}}$ и $\gamma_{0-1 \text{ äð}}$ – выход класса 0–1 мм, соответственно, в исходном и дробленом продуктах, %; $\gamma_{+1 \text{ èñð}}$ – выход класса +1 мм в исходном продукте, %.

Одно из условий целесообразности применения дробления для раскрываемости фракций 1,5–1,8 т/м³ – необходимость выполнения следующего неравенства:

$$t > 2\ell$$

Данные исследований промпродукта ш. "13-бис", полученного при обогащении рядового угля на ЦОФ "Пролетарская", приведены в табл. 1 и 2.

Из табл. 1 следует, что при степени дробления крупного промпродукта ш. "13-бис" $i = 7,69$ происходит увеличение фракций – 1,5 т/м³ с 0,18 до 0,23% и фракций +1,8 т/м³ с 94,47 до 95,38% за счет уменьшения выхода фракций плотностью 1,5–1,8 т/м³ на 0,98% с 5,35 до 4,37%. При этом зольность легких фракций снижается с 22,6 до 15,2%, а тяжелых остается практически неизменной.

Следует отметить незначительный рост выхода класса 0–1 мм с 12,33 до 14,67% при снижении зольности с 74,2 до 73,3%.

Таким образом, дробление крупного промпродукта ш. "13-бис" целесообразно, так как $t_{(18,32)} > 2\ell_{(2,2,67)}$.

Таблица 1

Фракционный состав крупного промпродукта при
обогащении рядовых углей ш. "13-бис"

Загальні питання технології збагачення

Плотность фракций, т/м ³	Крупный промпродукт					
	до дробления, кл. 0–100 мм			после дробления, кл. 0–13 мм		
	γ, % к классу	γ, % к фракции	A ^d , %	γ, % к классу	γ, % к фракции	A ^d , %
–1,5	0,16	0,18	22,6	0,21	0,25	15,2
1,5–1,8	4,69	5,35	29,6	3,73	4,37	27,0
+1,8	82,82	94,47	84,9	81,39	95,38	85,09
Итого	87,67	100,0	81,83	85,33	100,0	82,38
Класс 0–1 мм	12,33	–	74,2	14,67	–	73,3
Всего	100,0	–	80,89	100,0	–	81,05
<i>i</i>	1			7,69		
<i>t</i> , %	0			18,32		
<i>l</i> , %	0			2,67		

Таблица 2

Фракционный состав мелкого промпродукта при обогатении рядовых углей ш. "13-бис"

Плотность фракций, т/м ³	Мелкий промпродукт								
	Класс 0–13 мм			Класс 0–6 мм			Класс 0–3 мм		
	γ, % к классу	γ, % к фракции	A ^d , %	γ, % к классу	γ, % к фракции	A ^d , %	γ, % к классу	γ, % к фракции	A ^d , %
–1,5	0,28	0,36	18,2	6,97	9,71	17,2	4,20	7,22	13,6
1,5–1,8	6,92	9,09	38,9	1,06	8,48	36,7	4,64	7,97	33,7
+1,8	69,01	90,55	69,2	63,74	81,81	74,8	49,34	84,81	78,4
Итого	76,21	100,0	66,26	71,77	100,0	65,98	58,18	100,0	70,16
Класс 0–1 мм	23,79	–	73,2	28,23	–	70,8	41,82	–	65,9
Всего	100,0	–	67,91	100,0	–	67,34	100,0	–	68,38
<i>i</i>	1			2,16			4,33		
<i>t</i> , %	0			6,71			12,33		
<i>l</i> , %	0			5,82			23,66		

Анализ табл. 2 показывает, что при степени дробления мелкого промпродукта ш. "13-бис" $i = 2,16$ и $4,33$ происходит незначительное уменьшение выхода фракций плотностью $1,5–1,8$ т/м³, соответственно, с $9,09$ до $8,48\%$ и с $9,04$ до $7,97\%$ соответственно. При этом зольность легкой фракции снижается на $1,0$ и $4,6\%$, а зольность тяжелых увеличивается на $5,6$ и $9,2\%$ соответственно. Однако при этом выход класса $0–1$ мм увеличивается при $i = 2,16$ на $4,44\%$ с $23,79$ до $28,23\%$, а при $i = 4,33$ на $18,03\%$ с $23,79$ до $41,82\%$. Зольность класса $0–1$ мм снижается с $73,2\%$ соответственно на $2,4$ и $7,3\%$.

Таким образом, дробление мелкого промпродукта ш. "13-бис" нецелесообразно, так как при $i = 2,16$, а при $i = 4,33$

Загальні питання технології збагачення

$$t_{(12,33)} < 2l_{(2.23,66)}$$

Данный мелкий промпродукт целесообразно разделять как механическую смесь концентратных, промежуточных и породных фракций, причем удалению подлежит породная фракция с целью доведения зольности получаемого промпродукта до зольности товарного промпродукта.

Данные исследований промпродукта ш. "Дуванская", полученного при обогащении рядового угля на ЦОФ "Джзаржинская" приведены в табл. 3 и 4.

Из табл. 3 следует, что при степени дробления крупного промпродукта ш. "Дуванная" $i = 7,69$ происходит увеличение выхода фракций – 1,5 т/м³ с 1,55 до 2,86% и фракции +1,8 т/м³ с 85,85 до 86,29% за счет уменьшения выхода фракции 1,5–1,8 т/м³ на 1,75% с 12,60 до 10,85%. При этом зольность всех фракций исходного и дробленого продуктов изменяется незначительно. Отличается увеличение выхода класса 0–1 мм на 5,34% с 7,36 до 12,7%.

Таким образом, дробление крупного промпродукта ш. "Дуванная" целесообразно, так как $t_{(13,89)} > 2l_{(2.5,76)}$. Его обогащение целесообразно производить механическую смесь, путем выделения из него породных фракций, снижая при этом зольность.

Таблица 3

Фракционный состав крупного промпродукта при
обогащении рядовых углей ш. "Дуванная"

Плотность фракций, т/м ³	Крупный промпродукт					
	до дробления, кл. 0–100 мм			после дробления, кл. 0–13 мм		
	γ, % к классу	γ, % к фракции	A ^d , %	γ, % к классу	γ, % к фракции	A ^d , %
–1,5	1,44	1,55	12,80	2,50	2,86	14,70
1,5–1,8	11,67	12,60	40,70	9,47	10,85	42,50
+1,8	79,53	85,85	78,80	75,33	86,29	79,90
Итого	92,64	100,0	72,98	87,30	100,0	74,0
Класс 0–1 мм	7,36	–	76,7	12,70	–	70,6
Всего	100,0	–	73,25	100,0	–	73,57
<i>i</i>	1			7,69		
<i>t</i> , %	0			13,89		
<i>l</i> , %	0			5,76		

Анализ табл. 4 показывает, что при степени дробления мелкого промпродукта ш. "Дуванная" $i = 2,16$ и $4,33$ наблюдается снижение выхода фракций 1,5–1,8 т/м³ с 12,49% соответственно до 10,37% и 7,76%. При этом зольности всех фракций всех продуктов остаются практически неизменными. Выход класса 0–1 мм увеличивается при $i = 2,16$ с 11,05 до 19,25%, при $i = 4,33$

Загальні питання технології збагачення

до 33,24%.

Таблиця 4

Фракционный состав мелкого промпродукта при
обогащении рядовых углей ш. "Дуванная" и степень его раскрытия

Плотность фракций, т/м ³	Мелкий промпродукт								
	Класс 0–13 мм			Класс 0–6 мм			Класс 0–3 мм		
	γ, % к классу	γ, % к фракции	A ^d , %	γ, % к классу	γ, % к фракции	A ^d , %	γ, % к классу	γ, % к фракции	A ^d , %
-1,5	1,24	1,40	19,90	1,25	1,56	19,5	1,95	2,93	19,0
1,5–1,8	11,11	12,49	40,40	8,37	10,36	42,90	5,18	7,76	43,3
+1,8	76,60	86,11	76,26	71,13	88,08	79,60	59,63	89,31	79,3
Итого	88,95	100,0	71,00	80,75	100,0	74,86	66,76	100,0	74,74
Класс 0–1 мм	11,05	–	80,80	19,25	–	73,4	33,24	–	69,51
Всего	100,0	–	72,08	100,0	–	74,58	100,0	–	73,0
<i>i</i>		1			2,16			4,33	
<i>t</i> , %		0			17,05			37,87	
<i>l</i> , %		0			9,2			24,95	

Таким образом, дробление мелкого промпродукта ш. "Дуванная" нецелесообразно, так как при $i = 2,16$, $t_{(17,05)} < 2^{\ell(2,9,2)}$, а при $i = 4,33$, $t_{(37,87)} < 2^{\ell(2,24,95)}$.

Данные исследований промпродукта ш. "Юбилейная", полученного при обогащении рядового угля на ЦОФ "Дзаржинская" приведены в табл. 5 и 6.

Таблиця 5

Фракционный состав крупного промпродукта при
обогащении рядовых углей ш. "Юбилейная"

Плотность фракций, т/м ³	Крупный промпродукт					
	до дробления, кл. 0–100 мм			после дробления, кл. 0–13 мм		
	γ, % к классу	γ, % к фракции	A ^d , %	γ, % к классу	γ, % к фракции	A ^d , %
-1,5	29,81	38,33	8,5	29,68	39,76	6,9
1,5–1,8	7,76	9,97	36,4	5,48	7,35	34,2
+1,8	40,21	51,70	83,3	39,48	52,89	85,5
Итого	77,78	100,0	49,95	74,64	100,0	50,48
Класс 0–1 мм	22,22	–	82,7	25,36	–	77,3
Всего	100,0	–	57,23	100,0	–	57,28
<i>i</i>		1			7,69	
<i>t</i> , %		0			26,28	

Загальні питання технології збагачення

l, % | 0 | 4,04

Из табл. 5 следует, что при степени дробления крупного промпродукта ш. "Юбилейная" $i = 7,69$ происходит незначительное увеличение выхода фракций $-1,5 \text{ т/м}^3$ с 38,33 до 39,76% и фракции $+1,8 \text{ т/м}^3$ с 51,7 до 52,89% за счет уменьшения выхода промпродуктовых фракций $1,5-1,8 \text{ т/м}^3$ на 2,62% с 9,97 до 7,35%. При этом зольность всех фракций исходного и дробленого продуктов остается практически одинаковой. Следует отметить увеличение выхода класса 0–1 мм на 3,14% с 22,22 до 25,36% при снижении его зольности с 82,7 до 77,35%.

Таблица 6

Фракционный состав мелкого промпродукта при
обогащении рядовых углей ш. "Юбилейная" и степень его раскрытия

Плотность фракций, т/м ³	Мелкий промпродукт								
	Класс 0–13 мм			Класс 0–6 мм			Класс 0–3 мм		
	γ, % к классу	γ, % к фракции	A ^d , %	γ, % к классу	γ, % к фракции	A ^d , %	γ, % к классу	γ, % к фракции	A ^d , %
-1,5	23,95	34,52	12,3	22,31	34,2	12,40	16,94	33,68	10,70
1,5–1,8	10,21	14,72	35,20	8,88	14,25	37,20	6,59	13,10	38,10
+1,8	35,21	50,76	80,40	31,12	51,55	80,40	26,76	53,22	80,60
Итого	69,37	100,0	50,24	62,31	100,0	50,99	50,29	100,0	51,40
Класс 0–1 мм	30,63	–	79,7	37,69	–	74,05	49,71	–	68,03
Всего	100,0	–	59,26	100,0	–	59,68	100,0	–	59,71
<i>i</i>		1			2,16			4,33	
<i>t</i> , %		0			3,19			11,0	
<i>l</i> , %		0			4,24			27,51	

Из табл. 5 следует, что при степени дробления крупного промпродукта ш. "Юбилейная" $i = 7,69$ происходит незначительное увеличение выхода фракций $-1,5 \text{ т/м}^3$ с 38,33 до 39,76% и фракции $+1,8 \text{ т/м}^3$ с 51,7 до 52,89% за счет уменьшения выхода промпродуктовых фракций $1,5-1,8 \text{ т/м}^3$ на 2,62% с 9,97 до 7,35%. При этом зольность всех фракций исходного и дробленого продуктов остается практически одинаковой. Следует отметить увеличение выхода класса 0–1 мм на 3,14% с 22,22 до 25,36% при снижении его зольности с 82,7 до 77,35%.

Таким образом, дробление крупного промпродукта ш. "Юбилейная" целесообразно, так как $t_{(26,28)} > 2l_{(2,4,04)}$.

Анализ табл. 6 показывает, что при степени дробления мелкого промпродукта ш. "Юбилейная" $i = 2,16$ и 4,33 происходит незначительное

Загальні питання технології збагачення

уменьшение выхода фракций 1,5–1,8 т/м³ соответственно с 14,72 до 14,25% и с 14,72 до 13,10%. При этом зольности фракций всех продуктов остаются практически неизменными. Однако при $i = 2,16$ выход класса 0–1 мм увеличивается на 7,06% с 30,63 до 37,69%, а при $i = 4,33$ соответственно на 19,08% с 30,63 до 49,71%.

Таким образом, дробление мелкого промпродукта ш. "Юбилейная" нецелесообразно, так как при $i = 2,16$ $t_{(3,19)} < 2^{\ell_{(2.4.24)}}$, а при $i = 4,33$ $t_{(11,)} < 2^{\ell_{(2.27,51)}}$.

Данный промпродукт целесообразно разделять на концентрат, промпродукт и отходы, как механическую смесь.

Данные исследований промпродукта ш. "Красноармейско-Западная", полученного при обогащении рядового угля на ЦОФ "Колосниковская", приведены в табл. 7 и 8.

Из табл. 7 следует, что при степени дробления крупного промпродукта ш. "Красноармейско-Западная" $i = 7,69$ происходит снижение фракций плотностью 1,5–1,8 т/м³ на 21,3% с 49,0 до 27,7%, при этом выход легких и тяжелых фракций увеличивается соответственно, на 6,8% с 1,8 до 8,6% и на 14,5% с 49,2 до 63,7%. При этом существенно изменяется только зольность плотностью 1,5–1,8 т/м³ на 8,2% с 40,3 до 32,1%.

Выход класса 0–1 мм увеличивается на 12,0% с 20,3 до 32,3% с ростом зольности с 38,5 до 40,8%.

Таким образом, дробление крупного промпродукта ш. "Красноармейско-Западная" допустимо, так как $t_{(43,47)} > 2^{\ell_{(2.15,06)}}$, но нецелесообразно, поскольку высокая зольность полученных при этом лёгких фракций приводит к превышению норм качества товарной продукции.

Таблица 7

Фракционный состав крупного промпродукта при
обогащении рядовых углей ш. "Красноармейско-Западная"

Плотность фракций, т/м ³	Крупный промпродукт					
	до дробления, кл. 0–100 мм			после дробления, кл. 0–13 мм		
	γ, % к классу	γ, % к фракции	A ^d , %	γ, % к классу	γ, % к фракции	A ^d , %
–1,5	1,4	1,8	22,4	5,8	8,6	20,1
1,5–1,8	39,1	49,0	40,3	18,7	27,7	32,1
+1,8	39,2	49,2	74,3	43,2	63,7	75,1
Итого	79,7	100,0	56,7	67,7	100,0	58,5
Класс 0–1 мм	20,3	–	38,5	32,3	–	40,8
Всего	100,0	–	53,0	100,0	–	52,8
<i>i</i>	1			7,69		

Загальні питання технології збагачення

$t, \%$	0	43,47
$l, \%$	0	15,06

Таблиця 8

Фракционный состав мелкого промпродукта при
обогащении рядовых углей ш. "Красноармейско-Западная"

Плотность фракций, т/м^3	Мелкий промпродукт								
	Класс 0–13 мм			Класс 0–6 мм			Класс 0–3 мм		
	$\gamma, \%$ к классу	$\gamma, \%$ к фракц ии	$A^d, \%$	$\gamma, \%$ к классу	$\gamma, \%$ к фракц ии	$A^d, \%$	$\gamma, \%$ к классу	$\gamma, \%$ к фракц ии.	$A^d, \%$
–1,5	40,0	49,7	8,6	35,1	47,4	8,9	26,7	44,2	9,3
1,5–1,8	21,3	26,4	35,3	19,3	26,1	33,6	15,5	25,6	32,9
+1,8	19,2	23,9	73,1	19,7	26,5	73,7	18,2	30,2	75,5
Итого	80,5	100,0	31,3	74,1	100,0	32,5	60,4	100,0	35,3
Класс 0–1 мм	19,5	–	39,4	25,9	–	34,4	39,6	–	31,5
Всего	100,0	–	32,9	100,0	–	33,0	100,0	–	33,8
i	1			2,16			4,33		
$t, \%$	0			1,14			3,03		
$l, \%$	0			7,95			24,97		

Анализ табл. 8 показывает, что при степени дробления мелкого промпродукта ш. "Красноармейско-Западная" $i = 2,16$ и $4,33$ содержание фракций и их зольность практически не изменяется. При этом выход класса 0–1 мм увеличивается при $i = 2,16$ на 6,4% с 19,5 до 25,9%, а при $i = 4,33$ на 20,1% с 19,5 до 39,6%. Кроме того, наблюдается снижение зольности класса 0–1 мм с 39,4% соответственно на 5,0 и 7,6%, т.е. до 34,4 и 31,8%.

Таким образом, дробление мелкого промпродукта нецелесообразно, так как при $i = 2,16$ $t_{(1,14)} < 2\ell_{(2-7,95)}$, а при $i = 4,33$ $t_{(3,03)} < 2\ell_{(2-24,97)}$.

Данный промпродукт целесообразно разделять как механическую смесь концентратных, промежуточных и породных фракций, причем удалению подлежит как концентратная, так и породная фракции.

Из изложенного следует:

- принятие решения о целесообразности обогащения промпродукта необходимо применялись индивидуально для углей конкретной шахты;
- дробление крупного промпродукта практически для всех рядовых углей целесообразно, а его неприменение связано, в основном, с небольшим его количеством в крупном машинном классе;
- обогащение дробленного крупного промпродукта целесообразно осуществлять в контрольной отсадочной машине, а при ее отсутствии – в основной отсадке мелкого машинного класса;
- дробление мелкого промпродукта для углей рассмотренных шахт

Загальні питання технології збагачення

нецелесообразно из-за его нераскрываемости и высокого шламообразования. Мелкий промпродукт следует разделять как механическую смесь концентратных, промпродуктовых и породных фракций.

Список литературы

1. Дроздник И.Д. К вопросу обогащения металлургического комплекса коксующихся углей необходимого качества // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2005. – Вип. 23(64). – С. 8–12.

© Чмилев В.И., Полулях А.Д., Шевченко Д.В., 2005

*Надійшла до редколегії 12.08.2005 р.
Рекомендовано до публікації*