

## **Загальні питання технології збагачення**

УДК 622.776

**И.К. МЛАДЕЦКИЙ**, д-р техн. наук, **И.В. АХМЕТШИНА**

(Днепропетровск, Украина, Государственное ВУЗ "Национальный горный университет")

### **ПРИНЦИП ФОРМИРОВАНИЯ СЕПАРАЦИОННОГО БЛОКА**

Наиболее емкой системной характеристикой разделительного аппарата является сепарационная характеристика, которая отражает вероятности перехода узких фракций подготовленного полезного ископаемого в обогащенный продукт. Это при условии, если разделение бинарное. В случае же многомерного разделения аппарат имеет столько сепарационных характеристик, сколько продуктов на нем получают. Однако, наиболее устойчивое разделение – бинарное, поэтому будем рассматривать и аппараты, и технологические блоки, осуществляющие упомянутый способ разделения.

При создании конструкции сепаратора заранее, как правило, не могут определить его технологические свойства, поэтому сепарационную характеристику получают экспериментально. На этом основании полагаем, что аппарат полностью характеризуется сепарационной характеристикой. При чем обычно аппарат не в состоянии обеспечить требуемые технологические показатели. Для достижения же таких показателей применяют различные типы соединений аппаратов. В результате получают технологический разделительный блок. Сепарационная характеристика такого блока, как правило, является "лучшей" по сравнению с отдельным аппаратом. "Лучше" – это значит, что она имеет большую крутизну в точке перегиба и смещена вдоль оси абсцисс настолько, чтобы обеспечить или большее качество концентрата (вправо) или малые потери ценного минерала в хвостах (влево).

Сепараторы, как правило, достаточно дорогостоящие аппараты. И чем "лучше" сепарационная характеристика, тем дороже сепаратор. Поэтому технологический блок разделения получается достаточно дорогим технологическим решением. Рассмотрим один из способов экономичного формирования технологического блока.

В работах [1, 2] описан способ управления сепарационными характеристиками схем соединения разделительных аппаратов, основанный на последовательном разделении и смешении продуктов разделения с близкими показателями разделительного признака. Если в такой схеме подсчитать количество потоков, смешивающихся в каждой точке смешения, то получим числа, соответствующие треугольнику Паскаля (рис. 1). Эти числа поставлены между обозначениями перечисленных аппаратов схемы. До четвертого уровня идет разворачивание схемы и это будут уровни перечисток. Затем идут уровни сворачивания схемы.

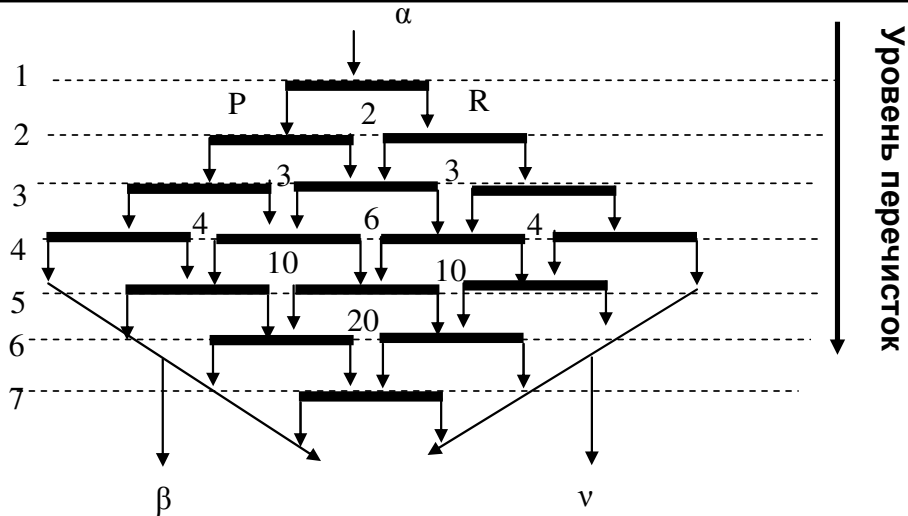


Рис. 1. Симметричная схема разделения, построенная по принципу треугольника Паскаля с 4-мя основными перечистками

Данная схема является симметричной как относительно среднего уровня перечисток, так и относительно вертикальной оси. Поэтому назовем ее симметричной схемой разделения. Здесь  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\nu$  – это содержание ценного минерала в исходном, обогащенном и обедненном продуктах.

Такая схема позволяет "улучшить" сепарационную характеристику, т.е. повысить крутизну в точке перегиба, снизить вероятность извлечения бедных сростков, практически до нуля, повысить вероятность извлечения богатых сростков. Такое "улучшение" повышает селективность разделения.

Обозначим вероятность извлечения частицы с заданными свойствами в обогащенный продукт в одном акте разделения  $P$ , а вероятность извлечения ее в обедненный –  $R$ .

Для симметричных схем соединения сепараторов с одинаковыми сепарационными характеристиками вероятности извлечения частицы в обогащенный продукт на выходе из схемы будут определяться выражениями:

- для 2-х основных перечисток:  $P_{cx2} = P^2 + 2P^2R$ ;
- для 3-х основных перечисток:  $P_{cx3} = P^3 + 3P^3R + 6P^3R^2$ ;
- для 4-х основных перечисток:  $P_{cx4} = P^4 + 4P^4R + 10P^4R^2 + 20P^4R^3$ ;
- для 5-ти основных перечисток:  $P_{cx5} = P^5 + 5P^5R + 15P^5R^2 + 35P^5R^3 + 70P^5R^4$ .

Рассмотрим теперь случай, когда на каждом уровне перечистки находятся сепараторы с одинаковой сепарационной характеристикой, но в каждом уровне сепараторы имеют свою  $P_i$ , отличную от других уровней, сепарационную характеристику. В этом случае выражения для вероятностей извлечения частицы в обогащенный продукт после прохождения всей схемы будут определяться из выражений:

- для 2-х основных перечисток:  $P_{cx2} = P_1P_2 + P_1R_2P_3 + R_1P_2P_3$ ;
- для 3-х основных перечисток:  $P_{cx3} = P_1P_2P_3 + P_4(P_1P_2R_3 + P_1R_2P_3 + R_1P_2P_3) + R_4P_5(P_1P_2R_3 + P_1R_2P_3 + R_1P_2P_3) + P_4P_5(P_1R_2R_3 + R_1P_2R_3 + R_1R_2P_3)$ .

## Загальні питання технології збагачення

Для 4-х основних перечисток получаем сумму произведений вероятностей: 1 слагаемое степени  $P^4$ , 4 слагаемых степени  $P^4R$ , 10 слагаемых степени  $P^4R^2$  и 20 слагаемых степени  $P^4R^3$ .

На рис. 2 показаны сепарационные характеристики 5-ти применяемых аппаратов  $P_1$  – характеристика 1-го уровня перечисток, характеристика  $P_2$  – аппаратов 2-го уровня перечисток, характеристики  $P_3$ ,  $P_4$ ,  $P_5$  – соответственно 3-го, 4-го и 5-го уровней перечисток. Характеристика  $S$  – для всего технологического блока, составленного по упомянутой симметричной схеме.

Как видно из этого рисунка результирующая сепарационная характеристика схемы с 3-мя основными перечистками ( $S$ ) "лучше" любой из характеристик сепараторов входящих в данную схему – она характеризуется большей крутизной в линии перегиба, более низкими значениями вероятности извлечения в обогащенный продукт бедных сростков и более высокими – богатых. Таким образом, использование данной схемы соединения аппаратов позволяет получить более точное разделение материала, чем это возможно для любого отдельного сепаратора.

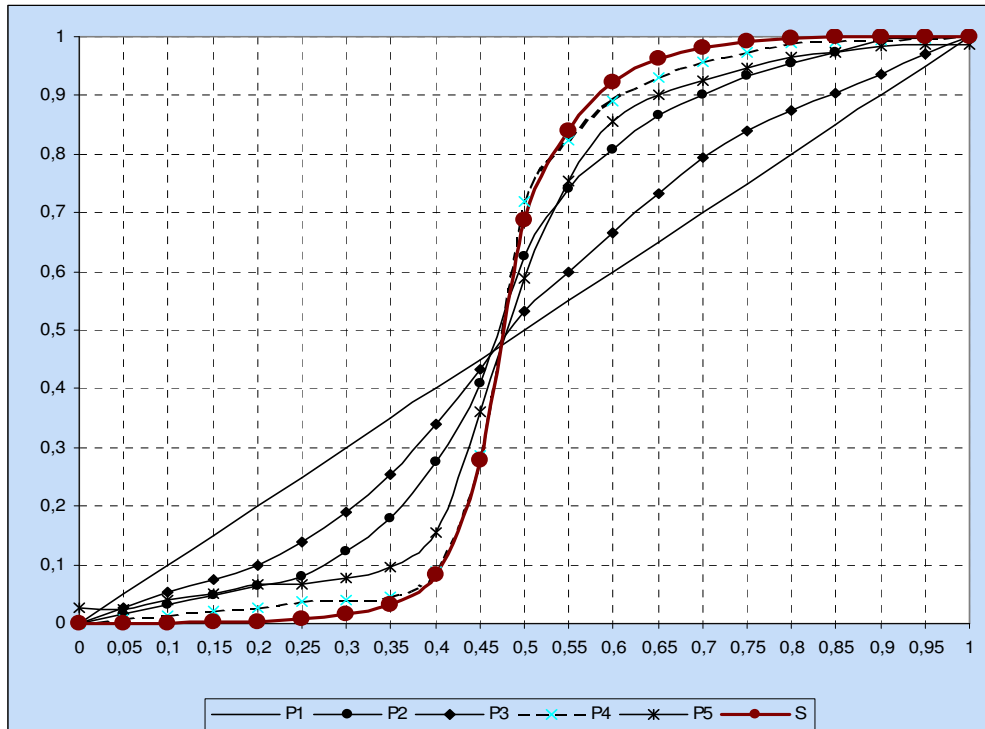


Рис. 2. Сепарационные характеристики отдельных разделительных аппаратов и результирующая сепарационная характеристика схемы с 3-мя основными перечистками.

Здесь следует обратить внимание на то, что поскольку нами используется принцип "сворачивания" схемы, то количество сепараторов в каждом уровне перечистки на этапе сворачивания убывает, и последний уровень состоит только из одного сепаратора. При этом производительность этого, последнего, сепаратора может быть ниже, чем производительность других сепараторов в схе-

## **Загальні питання технології збагачення**

ме, по крайней мере, ниже, чем у сепаратора 1-го уровня, поскольку в процессе разделения происходит стадийное выделение и выведение из процесса обогащенного и обедненного продуктов. Уменьшение производительности от уровня к уровню зависит от раскрытия ценного минерала и от а.

Покажем на примере формирование результирующей сепарационной характеристики схемы. Для этого рассмотрим симметричную схему с 3-мя основными уровнями.

$$P_{cx} = P_1 P_2 P_3 + P_4 (P_1 P_2 R_3 + P_1 R_2 P_3 + R_1 P_2 P_3) + \\ + R_4 P_5 (P_1 P_2 R_3 + P_1 R_2 P_3 + R_1 P_2 P_3) + P_4 P_5 (P_1 R_2 R_3 + R_1 P_2 R_3 + R_1 R_2 P_3).$$

Заменим R на (1-P). Тогда имеем:

$$P_{cx} = [P_1 P_2 P_3 + P_1 P_2 P_4 (1 - P_3) + P_1 P_3 P_4 (1 - P_2) + P_2 P_3 P_4 (1 - P_1)] + \\ + [P_1 P_2 P_5 (1 - P_3) (1 - P_4) + P_1 P_3 P_5 (1 - P_2) (1 - P_4) + P_2 P_3 P_5 (1 - P_1) (1 - P_4)] + \\ + [P_1 P_4 P_5 (1 - P_2) (1 - P_3) + P_2 P_4 P_5 (1 - P_1) (1 - P_3) + P_3 P_4 P_5 (1 - P_1) (1 - P_2)].$$

Раскроем скобки и проведем соответствующие преобразования:

$$P_{cx} = [P_1 P_2 P_3 + P_1 P_2 P_4 - P_1 P_2 P_3 P_4 + P_1 P_3 P_4 - P_1 P_2 P_3 P_4 + P_2 P_3 P_4 - \\ - P_1 P_2 P_3 P_4] + [P_1 P_2 P_5 (1 - P_3 - P_4 + P_3 P_4) + P_1 P_3 P_5 (1 - P_2 - P_4 + P_2 P_4) + \\ + P_2 P_3 P_5 (1 - P_1 - P_4 + P_1 P_4)] + [P_1 P_4 P_5 (1 - P_1 - P_2 + P_1 P_2) + \\ + P_2 P_4 P_5 (1 - P_1 - P_3 + P_1 P_3) + P_3 P_4 P_5 (1 - P_1 - P_2 + P_1 P_2)] = \\ = [P_1 P_2 P_3 + P_1 P_2 P_4 - P_1 P_2 P_3 P_4 + P_1 P_3 P_4 - P_1 P_2 P_3 P_4 + P_2 P_3 P_4 - \\ - P_1 P_2 P_3 P_4] + [P_1 P_2 P_5 (1 - P_3 - P_4 + P_3 P_4) + P_1 P_3 P_5 (1 - P_2 - P_4 + P_2 P_4) + \\ + P_2 P_3 P_5 (1 - P_1 - P_4 + P_1 P_4)] + [P_1 P_4 P_5 (1 - P_1 - P_2 + P_1 P_2) + \\ + P_2 P_4 P_5 (1 - P_1 - P_3 + P_1 P_3) + P_3 P_4 P_5 (1 - P_1 - P_2 + P_1 P_2)] = \\ = [P_1 P_2 P_3 + P_1 P_2 P_4 + P_1 P_3 P_4 + P_2 P_3 P_4 - 3 P_1 P_2 P_3 P_4] + \\ + [P_1 P_2 P_5 - P_1 P_2 P_3 P_5 - P_1 P_2 P_4 P_5 + P_1 P_2 P_3 P_4 P_5 + \\ + P_1 P_3 P_5 - P_1 P_2 P_3 P_5 - P_2 P_3 P_4 P_5 + P_1 P_2 P_3 P_4 P_5 + \\ + P_2 P_3 P_5 - P_1 P_2 P_3 P_5 - P_2 P_3 P_4 P_5 + P_1 P_2 P_3 P_4 P_5] + \\ + [P_1 P_4 P_5 - P_1 P_2 P_4 P_5 - P_1 P_3 P_4 P_5 + P_1 P_2 P_3 P_4 P_5 + \\ + P_2 P_4 P_5 - P_1 P_2 P_4 P_5 - P_2 P_3 P_4 P_5 + P_1 P_2 P_3 P_4 P_5 + \\ + P_3 P_4 P_5 - P_1 P_3 P_4 P_5 - P_2 P_3 P_4 P_5 + P_1 P_2 P_3 P_4 P_5].$$

В результате:

$$P_{cx} = [P_1 P_2 P_3 + P_1 P_2 P_4 + P_1 P_3 P_4 + P_2 P_3 P_4 + P_1 P_2 P_5 + \\ + P_1 P_3 P_5 + P_2 P_3 P_5 + P_1 P_4 P_5 + P_2 P_4 P_5 + P_3 P_4 P_5] + 6 P_1 P_2 P_3 P_4 P_5 - \\ - 3 (P_1 P_2 P_3 P_4 + P_1 P_2 P_3 P_5 + P_1 P_2 P_4 P_5 + P_1 P_3 P_4 P_5 + P_2 P_3 P_4 P_5).$$

Полученное выражение представляет собой сумму произведений вероятностей всех возможных комбинаций вероятностей используемых в схеме сепараторов (в данном случае, по 3 из 5-ти, по 4 из 5-ти и по 5 из 5-ти). Нами принята нумерация сепарационных характеристик сверху вниз и от худшего к лучшему

## **Загальні питання технології збагачення**

сепаратору. Если мы изменим порядок следования сепараторов, например, от "лучшего" к "худшему" или же они будут идти в случайном порядке, результирующее выражения для сепарационной характеристики схемы останется неизменным. *Таким образом, порядок следования сепараторов в схеме является несущественным и чем меньше дорогих сепараторов в схеме, тем она экономичнее без ухудшения ее технологических свойств.*

Целесообразно делать линией с "наилучшей" характеристикой последнюю линию, состоящую из 1-го сепаратора с относительно небольшой производительностью, поскольку часть материала уже выведена из процесса на предыдущих этапах перемешивания. Результирующая сепарационная характеристика схемы определяется 1-м наилучшим сепаратором, причем она имеет более высокую крутизну и более низкие вероятности извлечения бедных сростков и более высокие для богатых сростков, чем характеристики "наилучшего" сепаратора схемы.

Таким образом, для достижения одного и того же эффекта в схеме можно применять меньшее количество "лучших", то есть, как правило, более дорогих сепараторов, разместив их в линии, где число сепараторов наименьшее.

### **Список литературы**

1. Формирование сепарационных характеристик разделительных блоков / И.К. Младецкий, И.В. Ахметшина, Ю.С. Мостыка и др. // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2007. – Вип. 29(70)-30(71). – С. 20-25.

2. Принцип построения гибких характеристик сепарационных разделительных блоков / И.К. Младецкий, И.В. Ахметшина, Ю.С. Мостыка и др. // Вісник національного технічного університету "ХПІ": Сб. науч. тр.: Серія Хімія, хімічні технології та екологія. – 2007. – № 26. – С. 119-123.

© Младецкий И.К., Ахметшина И.В., 2014

*Надійшла до редколегії 03.03.2014 р.  
Рекомендовано до публікації д.т.н. П.І. Піловим*