Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института
им.Г.В.Плеханова, т./ХУШ, вып. 1, 1975г.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФЛОТАЦИИ АПАТИТА НА ОСНОВЕ КОНВЕКТИВНО-ДИФФУЗИОННОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

В.И.Златкин, А.Н.Маковский

Задача полной автоматизации процесса флотации апатито-нефелиновых руд оказывается весьма сложной по целому ряду причин.

Все основные операции по управлению процессом осуществляет флотатор, искусство и опыт которого в значительной мере определяют показатели процесса. Применяемые средства позволяют лишь осуществить автоматическую стабилизацию некоторых параметров процесса (дозировка реагентов, уровень пульпы).

Отмечая безусловную полезность всех мер, направленных на стабилизацию режима флотации и принципиальную возможность управления этими параметрами по возмущениям, необходимо обратить внимание на большое число возмущающих факторов, пока не поддающихся автоматическому контролю. Не подлежат пока автоматическому контролю и показатели готового продукта, хвостов и промпродуктов. Поэтому в функции флотатора входит: 1) экстраполяция периодически получаемых данных опробований; 2) оценка показателей продуктов; 3) управление кинетикой флотации с целью получения кондиционного концентрата при достаточно малом содержании апатита в хвостах; 4) управление динамикой процесса флотации.

Наиболее сложными являются первые две и последняя задача, поскольку при известных параметрах продуктов и процесса управления кинетикой может быть осуществлено на основании довольно простых технологических рекомендаций. В настоящей статье обсуждаются некоторые вопросы, связанные с решением задач динамики.

Изучение динамики процесса флотации в линейном приближении в принципе может быть проведено аналитическими методами с использова-

нием матриц передаточных функций[x]. Однако сложность взаимных связей между отдельными машинами через оборотные продукты делает решение чрезвычайно громоздким. По-видимому, целесообразнее изучать динамику флотационной секции методом моделирования.

Наиболее рациональной для рассматриваемого случая является структурная модель, причем элементом структурной схемы служит одна машина типа "Апатит". Отдельные элементы (машины) соединяются друг с другом по схеме, соответствующей технологической схеме секции.

Необходимо отметить, что использование аналоговой техники для моделирования оказывается неприемлемым из-за чрезвычайно большого числа усилителей, потребных для набора схемы, дающей решение уравнения в частных производных. Метод моделирования с помощью сеток также не может быть использован ввиду необходимости иметь подвижную сетку.

Наиболее приемлемым, на наш взгляд, способом является моделирование с помощью ЦВМ. При этом в основу модели может быть положена конвективно-диффузионная математическая модель процесса. В этом направлении возможен один из двух путей. Первый путь заключается в предварительной формализации задачи, приводящей к системе дифференциальных уравнений в частных производных и системе начальных и граничных условий с последующим решением полученной сложной краевой задачи на ЦВМ. Другой путь, более естественный и простой, предполагает прямое моделирование субпроцессов, протекающих в машинах, с учетом известных технологических особенностей на концах машин. При этом промежуточная формализация задачи не требуется, а каждое элементарное действие ЦВМ приобретает ясный физический смысл. Тем самым в значительной мере снижается вероятность ошибок.

Для прямого моделирования разобьем флотационную машину по длине на n одинаковых элементарных участков. Каждому участку сопоставим ячейку памяти ЦВМ, в которой будет храниться число, отражающее концентрацию апатита в соответствующем элементарном участке машины, C_i. Перед началом моделирования в ячейки засылаются данные, соответствующие начальной концентрации.

Над содержимым ячеек памяти производятся последовательно следующие операции: а) частичное смешивание содержимого соседних ячеек (имитация конвективно-диффузионного перемешивания материала во флотомашине); б) уменьшение чисел, содержащихся в ячейках (имитация извлечения в пенный продукт); в) перемещение части полученного числа из предыдущей ячейки в последующую для суммирования с ее прежним содержанием (имитация транспортировки пульпы вдоль машины).

При этом могут быть учтены самые разнообразные особенности работы флотационных машин. Если, например, полезная компонента питания флотационной машины неоднородна по флотируемости, следует просто использовать столько одномерных массивов ячеек памяти, сколько имеется классов флотируемости.

---

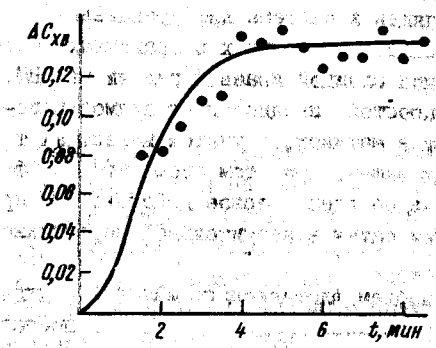
[x] См.: В.И.Зяткин, В.Г.Валеев, А.Н.Маковский. О матрицах передаточных функций флотационной секции. – Инф. бюлл. "Промышленность горно-химического сырья и природных солей", 1971, вып. 1.

Граничные условия задаются в весьма естественной форме. В первую ячейку данной флотомашины при выполнении операции перемещения (п.в) добавляют часть содержимого нулевой ячейки (питания). На конце машины граничное условие реализуется перемещением в $(n+1)$-ю ячейку части содержимого последней, n-й ячейки. Естественно, что содержимые нулевой и $(n+1)$-й ячеек в операциях а и б не участвуют.

Соединение машин в рамках модели по любой технологической схеме можно осуществить, используя в качестве нулевой последнюю ячейку той машины, камерный продукт которой является питанием для рассматриваемой, а в качестве $(n+1)$-й – первую ячейку последующей машины.

Таким методом можно моделировать любые стационарные и переходные режимы флотационных машин и секции в целом.

В качестве примера приведена программа моделирования процесса основной флотации на ЦВМ "Одра 1204". При моделировании предполагалось наличие в питании всего двух классов флотируемости с удельными *скоростями флотации* $K_1 = 1$ *1/мин и* $K_2 = 1/3$ *1/мин (при используемом* на комбинате "Апатит" реагентном режиме).



Переходный процесс при $\Delta C_{пит} = 1$

Программа может быть использована для моделирования переходных процессов при изменении различных факторов. С помощью этой программы был получен переходный процесс для ступенчатого изменения концентрации апатита в питании (см. рисунок). На рисунке точками обозначены результаты прямого эксперимента.

Программа моделирования процесса флотации на ЦВМ

```
begin integer n; read(n); begin array c,b[1:2,0:n],k[1:2],e[0:n];
integer i,j,m; real df,d,kf,l,dt,dx,z,s,v,g,p,r; read(d,k,l,dt,s,v,c);
dx:=1/n; df:=d*dt/(dx*dx); g:=v*dt/dx;
for j:=1 step 1 until 2000 do begin
for m:=1 step 1 until 2 do begin kf:=1-k[m]*dt;
for i:=0 step 1 until n do b[m,i]:=c[m,i];
c[m,1]:=b[m,1]+df*(b[m,2]-b[m,1]); c[m,n]:=b[m,n]+df*(b[m,n-1]-b[m,n]);
for i:=2 sten 1 until n-1 do c[m,i]:=b[m,i]+df*(b[m,i-1]-2*b[m,i]+b[m,i+1]);
for i:=1 step 1 until n do c[m,i]:=c[m,i]*kf;
for i:=1 step 1 until n do b[m,i]:=c[m,i];
for i:=1 step 1 until n do c[m,i]:=b[m,i]+g*(b[m,i]-1 -b[m,i]) end;
for i:=0 step 1 until n do e[i]:=s*c[1,i]+r*c[2,i];
if klawisz(5) then begin outdev(0); print(j,e) end;
for i:=1 step 1 until 40 do if abs(j-50*i) lt .0001 then begin
outdev(0); format('-dd.ddd'); affix(''); print(e) end end end end
```