

# Разработка и исследование системы управления процессом сгущения

А.П. Рутковский, И.И. Болотаева, В.М. Зароченцев



Д.т.н., профессор  
СКГМИ(ГТУ)  
А.П. Рутковский



К.т.н.  
СКГМИ(ГТУ)  
И.И. Болотаева



Доцент  
СКГМИ(ГТУ)  
В.М. Зароченцев

Процессы сгущения широко распространены в цветной металлургии, обогащении, химической промышленности, в частности в производстве цинка.

На большинстве предприятий в металлургии процессом сгущения управляют вручную, изменяя расход сгущенного продукта по результатам периодически отбираемых проб или по жесткой временной программе.

В промышленности наиболее широко используется способ управления работой сгустителя, заключающийся в ручной или автоматической коррекции расхода сгущенной пульпы в зависимости от скорости осаждения твердой фазы в пульпе, подаваемой в сгуститель. При этом не учитываются возмущения, действующие на процесс, такие как качество отстоя пульпы, высота осветленного слоя, время выпуска, что приводит к значительным потерям извлекаемого продукта со сливом и резким колебаниям содержания твердого в сгущенном продукте.

С целью повышения технологической эффективности и создания надежной системы управления процессом сгущения [1,2] разработана математическая модель распределения твердого по высоте сгустителя, в которой применяется дифференциальное уравнение скорости осаждения с использованием зонального метода расчета.

Для исследования выбраны следующие параметры: диаметр сгустителя; высота сгустителя; количество зон (10 зон) для расчета модели; среднее

содержание твердого (или концентрация, 100 кг/м<sup>3</sup>); скорость подачи раствора  $V_0$  (1 л/сек); границы слива (500 г/л, то есть концентрация твердого в нижнем сливе) – и задается концентрация для прекращения выгрузки нижнего слива.

При отстаивании суспензий имеет место медленное осаждение твердых частиц под действием силы тяжести, причем в верхней части сгустителя происходит свободное падение частиц [1].

Скорость осаждения твердых частиц в суспензии описывается дифференциальным уравнением, которое имеет вид:

$$\frac{dh}{d\tau} = \frac{k \cdot D^2 (\gamma_T - \gamma_C)}{z}, \quad (1)$$

где  $h$  – высота уровня суспензии,  $\tau$  – время осаждения,  $k$  – коэффициент пропорциональности,  $D$  – средний размер частиц,  $\gamma_T$  – удельный вес частиц,  $\gamma_C$  – удельный вес суспензии,  $z$  – относительная вязкость суспензии.

Вязкость суспензии рассчитывается по формуле Бачинского:

$$z_0 = z_{ж} (1 + 4,5\varphi), \quad (2)$$

где  $z_{ж}$  – вязкость чистой жидкости,  $\varphi$  – объемная концентрация твердого вещества в жидкости.

Рассмотрено изменение концентрации твердого по высоте сгустителя и по времени процесса, в со-

ответствии с [1]. В этом случае обосновано применение дифференциального уравнения потока, которое включает в себя скорость осаждения частиц и их распределение по высоте:

$$\frac{dC_T}{d\tau} = - \frac{dC_T}{dh} \cdot \frac{dh}{d\tau} \quad (3)$$

В этом уравнении скорость осаждения частиц определяем по уравнению (1), а изменение концентрации по высоте рассчитаем по методу конечных разностей, разбив сгуститель на зоны, при этом получим уравнение, позволяющее приближенно рассчитать распределение твердого по высоте:

$$- \frac{dC_T}{dh} \cdot \frac{dh}{d\tau} \approx \frac{C_T^{(i)} \cdot \left(\frac{dh}{d\tau}\right)^{(i+1)} - C_T^{(i+1)} \cdot \left(\frac{dh}{d\tau}\right)^{(i+2)}}{\Delta h} \quad (4)$$

Уравнения (1–4) представляют собой математическую модель, которая представлена в виде алгоритма расчета скорости накопления твердых частиц по зонам сгустителя (рисунки 1).

Модель, разработанная на базе блок-схемы моделирования системы управления процессом осаждения твердых частиц в пульпе с использованием пакета SIMULINK системы MATLAB, представлена на рисунке 2 [2,3].

Модель состоит из отдельных блоков пакета прикладных программ MATLAB и SIMULINK, каждый из которых выполняет определенную операцию:

- Selektor* – выбор точки их вектора;
- Pulp* – выбор сигнала (случайный или заданный);
- Vint* – интегратор объема;
- Pulp S* – пульпа на сливе из сгустителя;
- K* – блок, где задаются коэффициенты модели (первый – В, второй – и (ни));

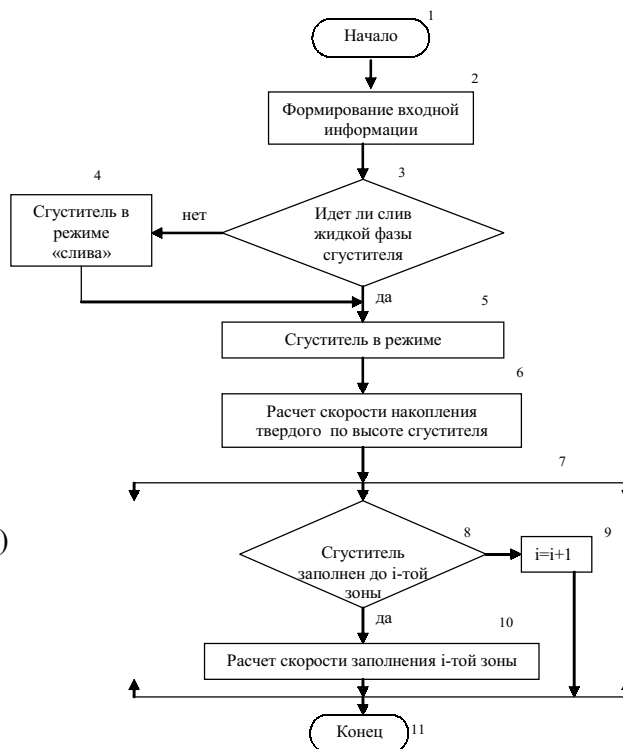


Рис.1. Алгоритм расчета скорости накопления твердых частиц по зонам сгустителя

$C_T(0)$  – начальные условия (начальное распределение твердого по высоте сгустителя);

$C_T(t)$  – интегратор твердого по зонам.

- В данном блоке (мультиплексор) формируются вектора выходных переменных, элементы которых соответствуют скалярным входным сигналам блока:
- 1-й – концентрация на входе, кг/м<sup>3</sup>,
- 2-й – концентрация по зонам (с 1 по 10), кг/м<sup>3</sup>,

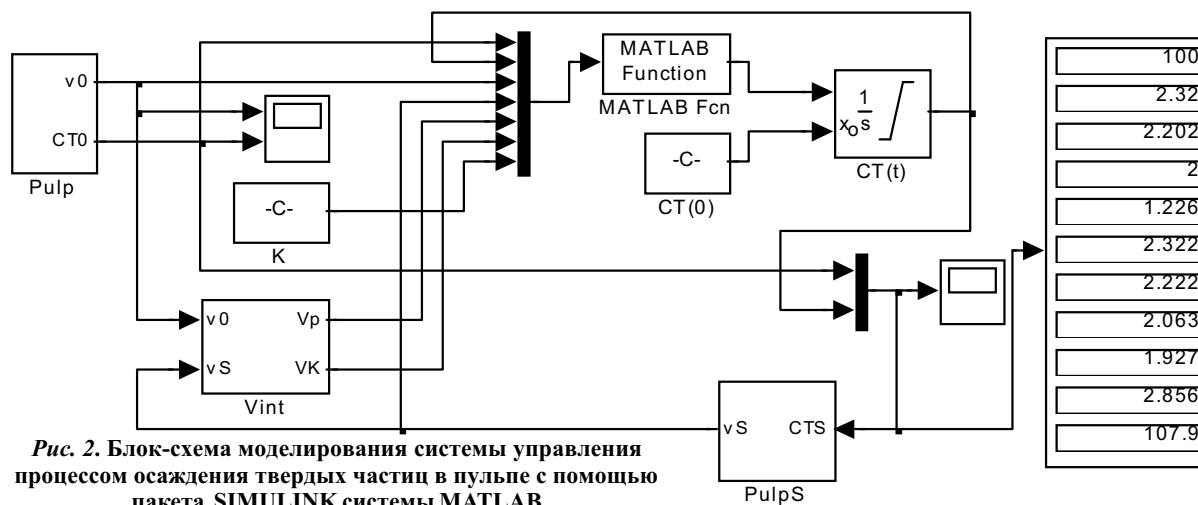
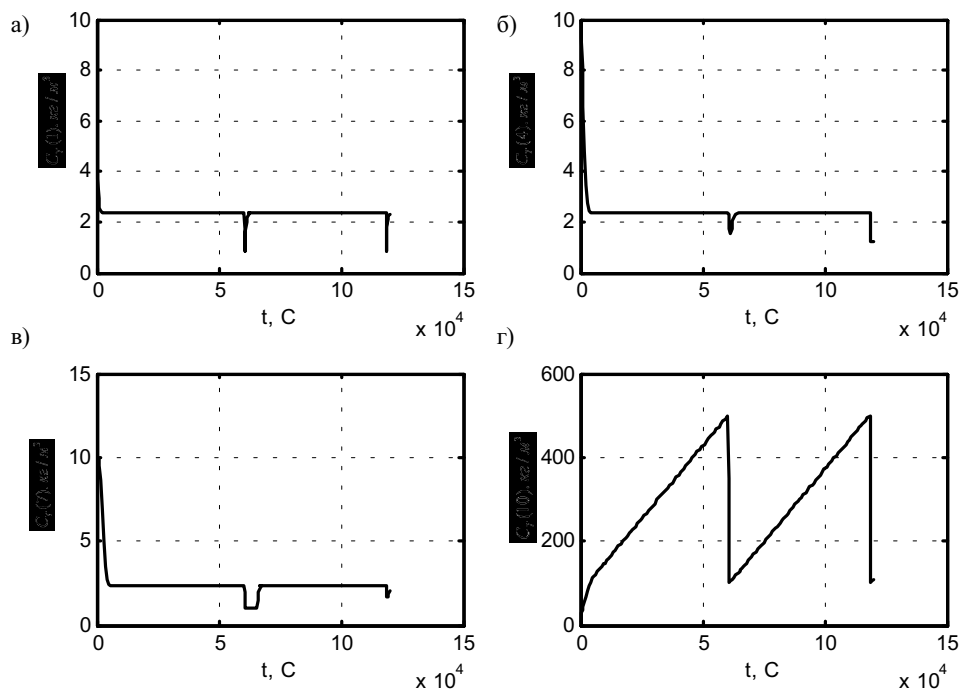


Рис. 2. Блок-схема моделирования системы управления процессом осаждения твердых частиц в пульпе с помощью пакета SIMULINK системы MATLAB



**Рис. 3.** Результаты имитационного моделирования для 1, 4, 7 и 10-й зон сгустителя: а) осветленный слой, б) свободное падение частиц, в) стесненное падение частиц, г) уплотнение и выпуск твердой фазы

3-й –  $V_0$  – объемная скорость потока на входе,  $\text{м}^3/\text{с}$ ,  
 4-й –  $V_C$  – скорость нижнего слива,  $\text{м}^3/\text{с}$ ,  
 5-й –  $V_p$  – объем пульпы в сгустителе,  $\text{м}^3$ ,  
 6-й –  $V_K$  – сигнал состояния:

если  $V_p = 0$ , то  $V_K = -1$ ,  
 если  $V_p^{\max} > V_p > 0$ , то  $V_K = 0$ ,  
 если  $V_p = V_p^{\max}$ , то  $V_K = 1$ ,  
 7-й – константы ( $B$ ,  $\mu$ ).

### МАТЛАВ Function

Данный блок служит для задания выражения на языке системы МАТЛАВ, т.е. непосредственно для написания самой программы, которая реализована с использованием блок-схемы осаждения твердых частиц в пульпе, предложенной на рис. 2.

Также в модели используются блок Display (дисплей), который обеспечивает визуализацию значения входной переменной, и блок Scope (осциллограф), который строит графики функций, где входные переменные блока – значения функции, значения аргумента – время.

На основании математического описания и блок-схемы, приведенной на рис. 1, разработана программа, рассчитывающая скорость осаждения твердых частиц в пульпе.

При помощи программы были получены графики накопления твердого по зонам. Всего реактор разбит на 10 зон. На рис. 3 представлены графики накопления твердого в объеме 1-й, 4-й, 7-й и 10-й зонах.

В 1-й и 4-й зонах (рис. 3 а, б) концентрация твердого практически одинакова, так как падение частиц свободное. Начиная с 7-й зоны наблюдается увеличение плотности осадка, так как количество частиц растет и падение становится стесненным (рис. 3 в).

В заданных условиях, фактически, уплотнение осадка происходит в 9-й и 10-й зонах (рис. 3 г).

Контроль максимальной плотности осадка для управления сбросом осуществляется в 10-й зоне, т.е. по достижении верхней границы клапан выпуска нижнего слива открывается и идет откачка твердой фазы до тех пор, пока в сливе не появится большое количество жидкой фазы.

## Литература

1. Батунер Л.М., Позин М.Е. Математические методы в химической технике. – Ленинград: Химия, 1971. 824 с.: ил.

2. Рутковский А.Л., Саакянц А.А., Болотаева И.И. Совершенствование системы автоматического управ-

ления процессом сгущения // «Труды СКГМИ (ГТУ)». – Владикавказ, юбилейный выпуск, 2006. с. 88–91.

3. Черных И.В. SIMULINK – среда создания инженерных приложений. – Москва: Диалог-МИФИ, 2004. 491 с.: ил.