Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова,
т. /XXУП, 1978 г.

МОДЕЛИРОВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ НА АНАЛОГОВОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАШИНЕ

В.И.ЗЛАТКИН, П.П.РЫЖИЙ, А.Х.ГОРЕЛИК,
Е.Е.ШТЕЙНМАН, А.Н.МАКОВСКИЙ

Несмотря на большое число работ, посвященных моделям одностадиального цикла измельчения, отсутствует модель, отражающая связь между основными параметрами измельчения и тонкой слива классификатора. Проведенные исследования позволяют проверить устойчивость и качество регулирования всех параметров агрегата за исключением тонины слива. Однако вследствие того, что тонина слива классификатора является одним из важнейших параметров измельчения, проверить возможность ее регулирования особенно важно. Эту задачу можно решить лишь комплексно, так как замкнутый цикл измельчения является многосвязным объектом автоматического регулирования.

Как показано [2], оптимальная система управления, работающая по критерию максимальной нагрузки агрегата по руде, состоит из трех контуров: 1) контура стабилизации плотности слива мельницы (можно заменить контуром стабилизации воды в мельницу при самом низком значении расхода воды, допускаемым по технологии); 2) контура стабилизации частоты шума f; 3) контура стабилизации тонины слива классификатора.

Для проверки устойчивости и качества регулирования измельчения особенно важно получить адекватную модель динамики измельчения. Известны [1] экспериментальные и аналитические способы получения моделей динамики. Однако вследствие специфики объекта, имеющего технологическую положительную обратную связь и неизмеряемый автоматически параметр – тонину слива классификатора, а также из-за стохастичности объекта ни один из известных методов не может дать положительных результатов. Наиболее подходящим для построения модели замкнутого цикла измельчения является смешанный метод, состоящий в получении структуры модели и коэффициентов усиления по основным каналам на основании линеаризации модели статики [2], а для получения запаздываний и постоянных времени передаточных функций – экспериментально снятых кривых разгона.

Линеаризацию статических характеристик произведем разложением нелинейных уравнений в ряд Тэйлора, отбросив нелинейные члены. Линеаризованная модель статики измельчения приведена в таблице.

Аппарат	Модель
1-й смеситель	$Q_т = Q_п + X_1$
	$\alpha_м = const$
	$Q = Q_т + Q_в^п + X_2$
Мельница	$\alpha_к = 55 + 0{,}06(Q_в^п + X_2 - 98) + 0{,}06(Q_т - 140)$
	$f = 90{,}36 - 0{,}254 Q_т$
2-й смеситель	$Q_в^к = Q_в^п + X_2 + X_3$
Классификатор	$\alpha_{сл} = 17 + 0{,}308(\alpha_к - 55) + 0{,}192(Q_т - 140) - 0{,}102(Q_в^к - 157)$
	$Q_{сл} = 0{,}37 Q_т - 0{,}1 Q_в^к$
	$Q_п = Q_т - Q_{сл}$
	$Q_в^п = 0{,}6 Q_п$
	$\alpha_п = const$

Примечание. $Q_т$ – расход твердого в мельницу и классификатор; $Q_п$ – расход твердого в песках; $Q_в^п$ – расход воды с песками; $Q_в^к$ – расход воды, поступающей в классификатор; $Q_{сл}$ – расход твердого в слив; X_1, X_2, X_3 – расход руды; воды, подаваемой в мельницу; и воды, добавляемой в слив мельницы; $\alpha_м$, $\alpha_к$ – крупность материала, подаваемого в мельницу и классификатор, % класса +0,2 мм; $\alpha_п$, $\alpha_{сл}$ – крупность песков и слива классификатора, % класса +0,2 мм; Q – общих расход материала, поступающего в мельницу и классификатор.

При составлении модели принята слецующая система цопущений:

1) пульпа, проходя через мельницу и классификатор, вецет себя как тяжелая однороцная жицкость;

2) на мельницу поцается материал постоянной крупности. Возмущения от различных причин объецинены и наносятся пс «шуму".

Динамические характеристики агрегата нахоцятся из условий материального баланса.

Однако при нанесении возмущения воцой, поцаваемой в классификатор, плотность слива $\gamma_{сл}$ меняется по сложной кривой разгона, что уже отмечалось ранее [3]. Это происхоцит за счет резкого нарушения условий классификации, выражающегося в вытеснении порции тверцого материала в слив или пески в зависимости от знака возмущения.

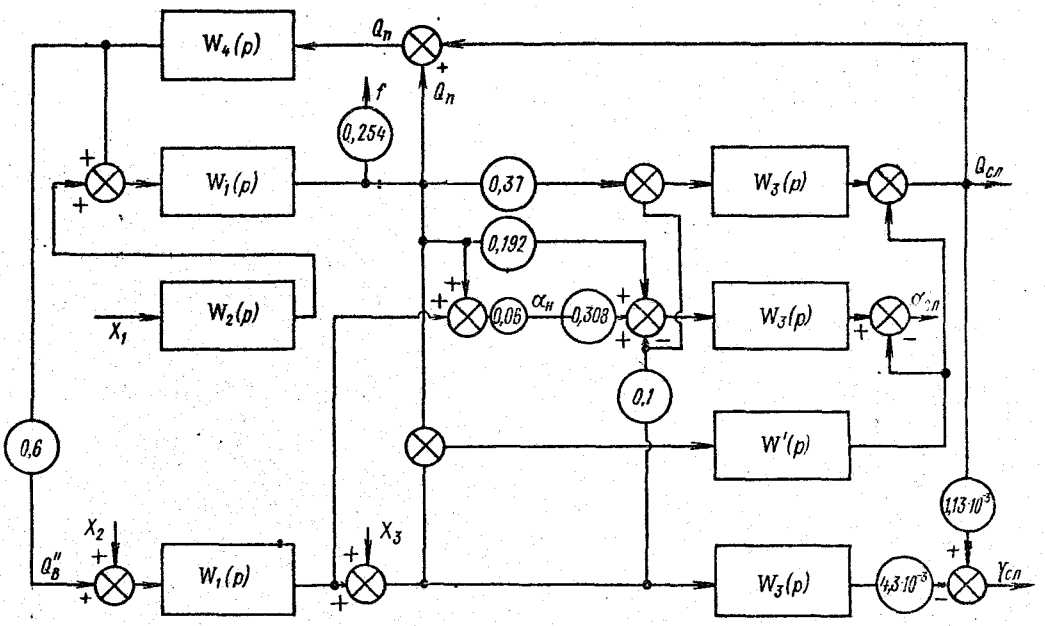


Рис.1. Структурная схема модели динамики замкнутого цикла измельчения

Модель (рис.I) построена с использованием экспериментальных кривых разгона. В модели имеются следующие передаточные функции: $W_1(p)$ – между подачей материала в мельницу и выходом его из мельницы; $W_2(p)$ – между подачей материала на питатель и схода его с питателя; $W_3(p)$ – между подачей воды в классификатор и выхода ее в слив; $W_4(p)$ – между подачей песка на спирали классификатора и поступлением его в мельницу; $W_3(p)+W'(p)$ – между подачей твердого материала в классификатор и выходом его в слив.

Сравнение разгонных кривых показывает удовлетворительное совпадение расчетных и экспериментальных данных (рис.2).

Для набора разработанной модели на аналоговой вычислительной машине (рис.3) выберем масштабы переменных:

I В на АВМ – I м^3/ч расхода твердого материала и воды;

I В на АВМ – 0,254 усл.ед. «шума";

I В на АВМ – I% класса –0,2 мм в сливе классификатора;

I В на АВМ – 4,3 г/л плотности слива классификатора;

I с на АВМ – 5 мин. реального времени.

Машинные передаточные функции и транспортные запаздывания в модели следующие:

$$W_1(p)=\frac{1}{T_M p+1};$$

$$W_2(p)=e^{-\tau_n p};$$

$$W_3(p)=\frac{1}{T_K p+1};$$

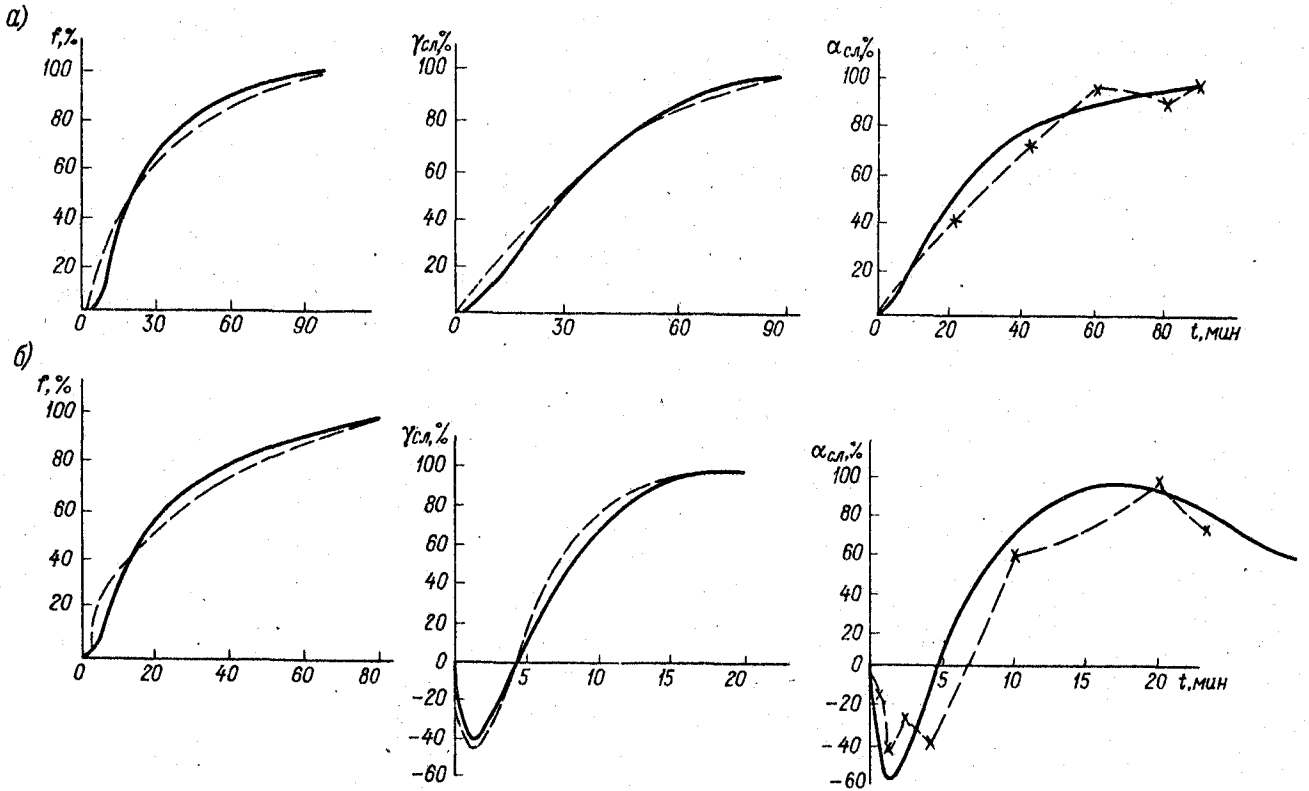


Рис. 2. Сравнение экспериментальных разгонных характеристик (пунктирные линии) с разгонными кривыми, полученными на моделях (сплошные линии):
а – возмущение по руде; б – возмущение водой, подаваемой в классификатор

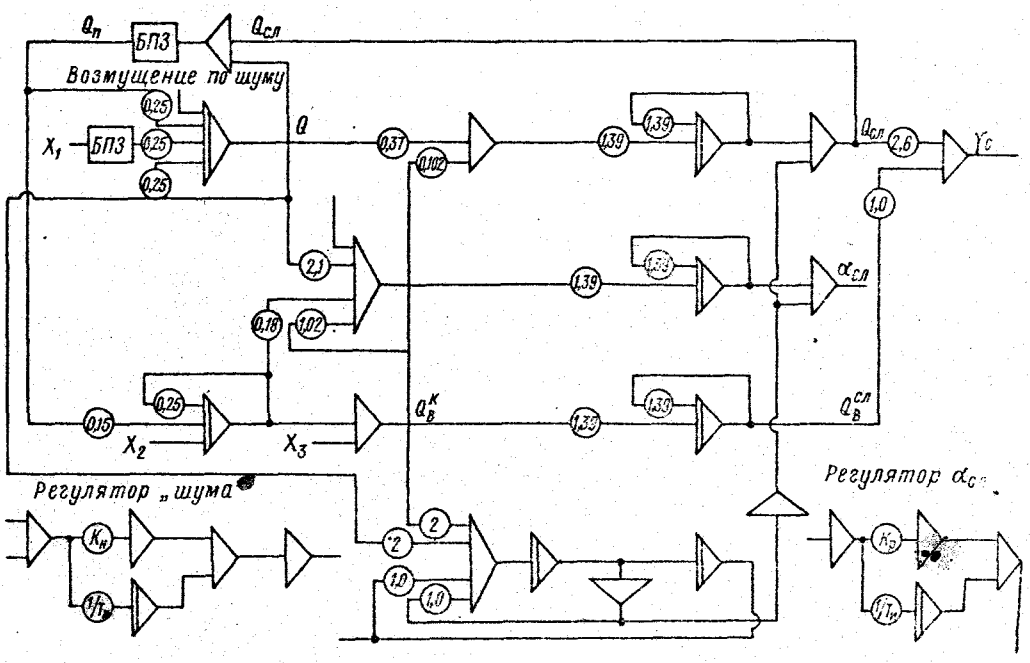


Рис. 3. Схема набора модели на АВМ

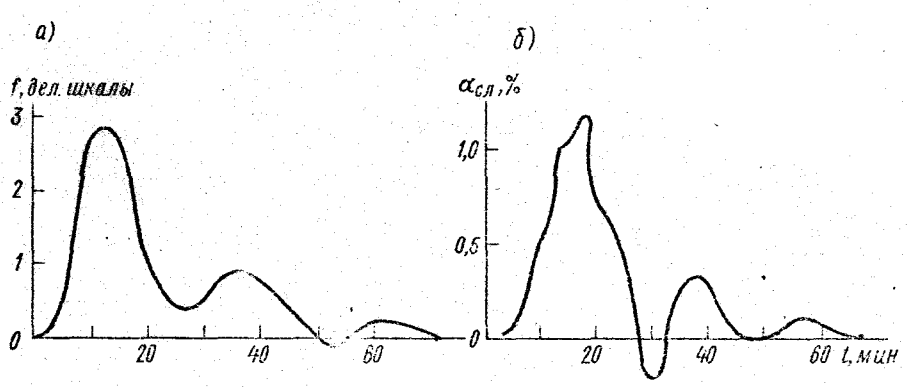


Рис. 4. Оптимальные переходные процессы, полученные при моделировании

$$W_4(p) = e^{-\tau_c p};$$

$$W'(p) = \frac{2p}{p^2+p+1}.$$

Здесь $T_м$ = 4 с – постоянная времени мельницы; $T_к$ = 0,72 с – постоянная времени классификатора; $\tau_п$ = 1 с – запаздывание питателя; τ_c = = 1 с – запаздывание песков.

Для набора на АВМ транспортных запаздываний использованы блоки постоянного запаздывания (БПЗ).

Методом моделирования получены оптимальные переходные процессы АСР (рис.4) и оптимальные настройки регуляторов:

I) для регулирования "шума" коэффициент усиления регулятора $K_р$ = = 8,7, время изодрома $T_и$ = I2,5;

2) для регулирования тонины слива классификатора $K_р$ = 8, $T_и$ = I6,7.

Как показывают результаты моделирования, основным фактором, ухудшающим процесс регулирования, является наличие двух питателей с различным временем транспортного запаздывания. При этом система управления "шумом" должна настраиваться по питателю с бóльшим временем транспортного запаздывания, иначе настроенная система будет неустойчивой. Таким образом, при работе системы управления с питателем, обладающим малым временем транспортного запаздывания, система работает при неоптимальной настройке регулятора "шума", что снижает качество регулирования. Избежать этого можно за счет выравнивания транспортных запаздываний питателей, увеличив скорость движения ленты питателя с большим транспортным запаздыванием.

Таким образом, моделирование системы автоматического регулирования замкнутого цикла измельчения показывает возможность получения устойчивого качественного регулирования тонины слива классификатора. При этом на качество регулирования тонины слива влияет качество регулирования "шума" мельницы.

Система автоматического регулирования измельчения была внедрена на АНОФ-2 комбината "Апатит" и позволила сократить дисперсию тонины слива классификатора в 2,5 раза по сравнению с ручным управлением.

ЛИТЕРАТУРА

1. Закгейм А.Ю. Введение в моделирование химико-технологических процессов. М., Химия, 1973.

2. Синтез структуры системы оптимального управления промышленным агрегатом / В.И.Златкин, П.П.Рыжий, Е.Е.Штейнман, А.Х.Горелик. - Реферативная информация о передовом опыте ЦБНТИ, сер. УШ, вып. 7, 1977.

3. Троп А.Е., Козин В.З., Аршинский В.М. Автоматизация обогатительных фабрик. М., Недра, 1970.