© К.Я. Улитенко, В.В. Морозов, 2014

УДК 622.765

К.Я. Улитенко, В.В. Морозов

УПРАВЛЕНИЕ ОПЕРАЦИЯМИ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ И КЛАССИФИКАЦИИ НА ОСНОВЕ ТИПИЗАЦИИ РУД

Приведен пример разработки и применения современной модель-ориентированной адаптивной системы управления процессом измельчения и классификации медно-молибденовых руд.. Основным подходом является применение для управления процессами алгоритма оперативной оценка сортности руды. Рекомендованные параметры были применены при управлении процессами измельчения и классификации на обогатительной фабрике СП «Эрдэнэт». Результатами проведенных испытаний на промышленном процессе было показано возрастание на 5–7% устойчивости регулирования и качества измельчения.

Ключевые слова: процессы дробления и измельчения, классификация сортов руд, крупность измельчения, загрузка барабана, система управления процессом измельчения.

Актуальным направлением решения проблемы повышения эффективности процессов дробления и измельчения обогатительного производства является разработка и применение многоуровневых адаптивных систем, основанных на использовании многоуровневой динамической модели, учитывающих в качестве входных информационных параметров расширенную номенклатуру технологических параметров процессов. Одним из современных подходов является применение для эффективного управления процессами дробления, измельчения и классификации оперативной оценки сортности руды [1, 2].

Основой задачей алгоритма регулирования является расчет и поддержание значений функций – задатчиков в контурах стабилизационного регулирования параметров технологических процессов. Классификация систем автоматического регулирования, приведенная в табл. 1, осуществлена по параметру процесса, на который направлено регулирующее воздействие.

Структура и взаимодействие локальных систем (контуров) регулирования может быть проиллюстрирована на примере АСУТП типовой двухстадиальной схемы шарового измельчения, представленной на рис. 1. Главным различием в технологических режимах измельчения и классификации основных технологических сортов руд является необходимость достижения отличающихся степеней измельчения – т.е. крупности измельченной руды. Требуемая степень измельчения требует определенной настройки всей технологической цепочки измельчение – классификация. Так, для получения заданной крупности слива классификатора требуется поддерживать определенную плотность пульпы в операции. При этом будет поддерживаться определенное соотношение выходов слива и песков классификации. Последнее потребует корректировки соотношения руда-вода в системе регулирования расхода воды в мельницу.

Для расчета значений параметров процессов измельчения и классифи-

Таблица 1

Локальные системы автоматического регулирования процесса измельчения и классификации

№№	Системы автоматического регулирования	Первичные измерительные приборы	Исполнительный механизм	Функция-задатчик
1.	Стабилизации расхода руды на мельницу (1–1)	Расхода руды, скорости ленты	Регулятор оборотов привода конвейера	Расход руды в мельницу (Q_p)
2.	Регулирования расхода воды в мельницу по расходу руды (1–2)	Конвейерные весы, датчики скорости ленты, расхода воды	Клапанный регулятор расхода воды	Соотношение расходов воды и руды в мельницу (R_m)
3.	Регулирования плотности пульпы изменением расхода воды в классификацию (1–3)	Плотности пульпы, расхода воды	Клапанный регулятор расхода воды	Плотн. пульпы в разгрузке классификатора (ρ_c)
4.	Регулирования плотности пульпы изменением расхода воды в мельницу (2–1)	Плотности пульпы, расхода воды	Клапанный регулятор расхода воды	Плотность пульпы в разгрузке мельницы (ρ_m)
5.	Регулирования крупности измельч. руды изменением расхода воды в операцию классификации (2–2)	Крупности твердой фазы пульпы, расхода воды	Клапанный регулятор расхода воды	Крупность твердой фазы пульпы в сливе классификатора (γ^{-74}_c)
6.	Регулирования циркулир. нагрузки в замкнутых циклах измельчение классификация (2–3)	Мощности привода классификатора; плотности слива	Регулятор расхода воды в мельницу и классификатор	Циркулирующая нагрузка (Q_c)

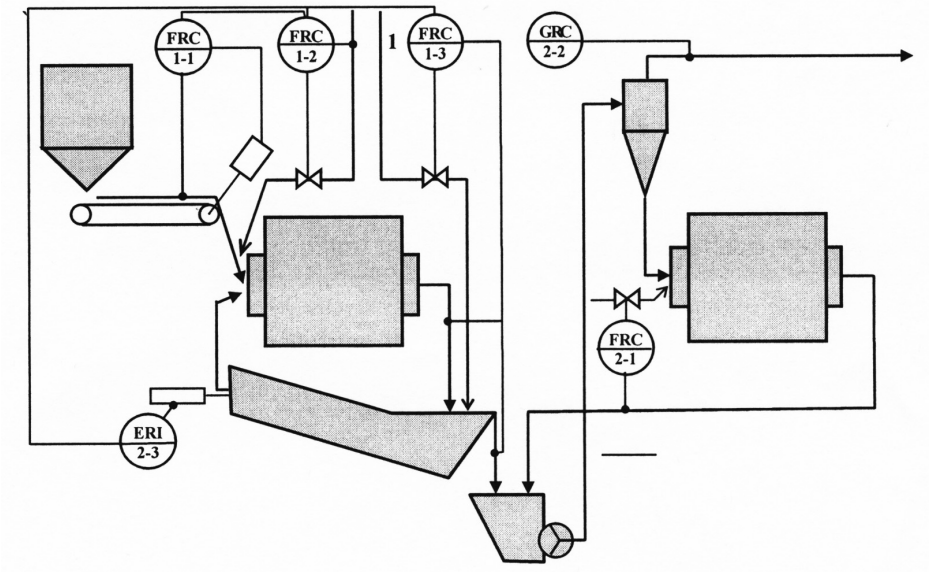

Рис. 1. Принципиальная схема локальных контуров регулирования АСУТП цикла измельчения-классификации

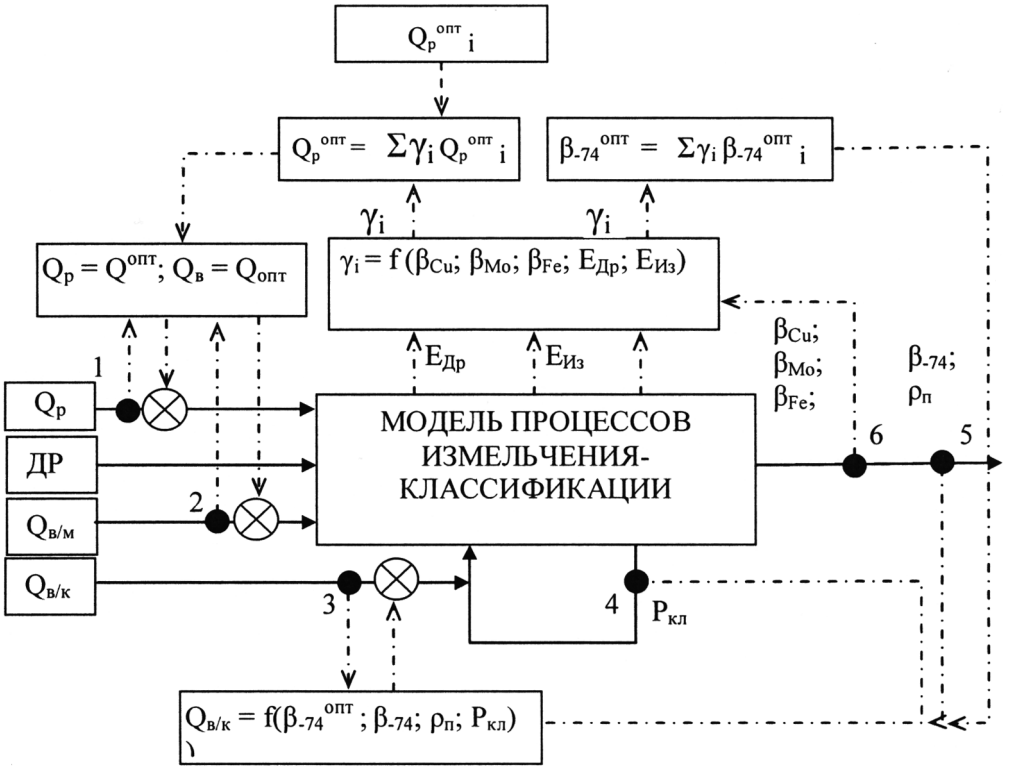

Рис. 2. Блок-схема отладки параметров управления процессом измельчения-классификации с использованием многоуровневой динамической модели процесса: β_{-74} – содержание класса -74 мкм; $\beta_{Cu,Mo,Fe}$ – содержание меди, молибдена, железа; $\rho_п$ – плотность пульпы; $Q_р$ – производительность по руде, т/ч; $M_ц$ –циркулирующая нагрузка, т/ч; ИЗ – измельчаемость руды, т(кл.-74 мкм) /кВтч; $P_м$, $P_{кл}$ – потребляемая мощность привода мельницы, $E_{др}$; $E_{из}$ – расход энергии на дробление и измельчение, кВтч/т; $Q_{в/м}$, $Q_{в/к}$ – расход воды в мельницу, классификатор, т/ч

кации различных сортов руд была использована разработанная многоуровневая динамическая модель [2] в комбинации с узлами системы автоматического регулирования в режиме с обратной связью. При задании значений входных параметров подбиралась производительность и остальные технологические параметры, обеспечивающие достижения заданной крупности слива классификации.

Структурная схема, представленная на рис. 2, позволяет оценить влияние входных параметров и оценить степень связи измеряемых параметров процесса с конечными показателями, получить совокупность входных и промежуточных параметров, выходных показателей, соответствующих определенной сортности руды.

С использованием представленного алгоритма отладки были определены параметры, характеризующие состояние процесса измельчения и условия технологической перегрузки и мельниц при переработке руд различной крепости и измельчаемости. Из представленных на рис. 3 переходных характеристиках видно, что увеличение прочности руды вызывает закономерное снижение крупности измельчения, увеличение загрузки барабана

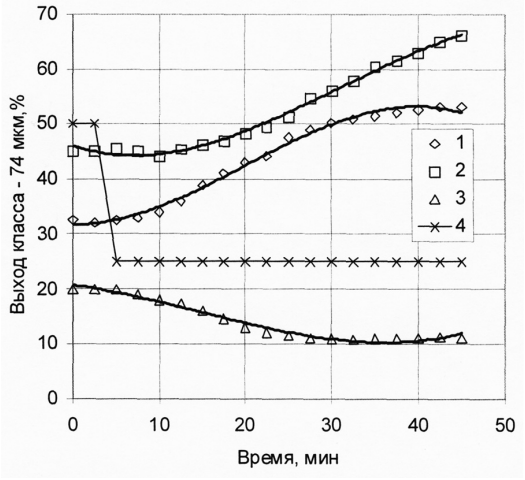

Рис. 2. Зависимости изменения параметров цикла измельчение-классификация при двухкратном снижении нагрузки на мельницу: 1 -крупность измельченной руды на разгрузке мельницы 1 ст.; 2 – крупность измельченной руды на разгрузке спирального классификатора; 3 – величина циркулирующей нагрузки (х10); 4 – производительность по руде; линии – расчетные зависимости; точки – экспериментальные данные

и циркулирующей нагрузки и рост потребляемой электроэнергии (интервал с 4 по 20 мин.). Дальнейшие процессы, инициированные возросшей на 50% циркулирующей нагрузкой, сопровождаются дальнейшим снижением крупности измельчения, увеличением загрузки барабана и снижением потребляемой электроэнергии. Такое состояние технологического процесса характеризуется резким снижением эффективности процессов измельчения и классификации и в дальнейшем называется «перегрузкой».

Результаты модельных расчетов, представленные в табл. 2, представ-

Таблица 2

Значения функций-задатчиков в системах автоматического регулирования процессов измельчения и классификации

№№	Технологический параметр – задающая функция (ЗФ)	Первичные халькопиритовые руды	Борнит-халькозин-молибденитовые руды	Бедные пиритистые руды	Окисленн. руды
1.	Крупность измельч. руды, % кл. -74 мкм (γ^{-74}_c)	67,5	64,5	67,0	66,0
2.	Расход руды в мельницу, т/м^{3}ч (ММЦ 4,2х4,5) (Q_p)	1,65	1,74	1,71	1,64
3.	Соотнош. расходов воды и руды в мельницу, ед. (R_m)	1,0	1,02	1,01	1,02
4.	Плотность пульпы в разгр. классиф., %тв. (ρ_c)	1,43	1,46	1,45	1,46
5.	Плотность пульпы в разгр. мельницы, %тв. (ρ_m)	55,0	56,5	56	56,7
6.	Циркулирующая нагрузка, % (Q_c)	275	250	262	246

Таблица 3

Результаты опытно-промышленных испытаний системы управления процессом измельчения на основе оценки сортности руды

Параметры процесса	Без автоматического управления		С применением автоматического управления	
	На модели	На процессе	На модели	На процессе
Содержание меди в руде, %	0,57	0,57	0,57	0,57
Доля окисленной меди, %	2,9	2,9	2,9	2,9
Содерж. молибдена в руде, %	0,0178	0,0178	0,0178	0,0175
Содерж. кл.–74 мкм в измельч. руде, %	65,5	65,6	65,5	65,7
Удельная производит., т/м^{3}ч	1,65	1,65	1,67	1,67
Расход эл.энергии, кВтч/т	9,73	9,76	9,55	9,54
Содерж. меди в колл. к-те, %		11,21		11,26
Содерж.молибдена в колл.к-те, %		0,187		0,190
Извлеч. меди в колл. к-т, %		89,0		89,4
Извлеч. молибдена в колл. к-т, %		53,7		54,1
Извлечение меди в к-т, %		85,0		85,3
Извлечение молибдена в к-т, %		44,8		45,3

ляют собой рекомендованные значения параметров технологического процесса при переработке руд заданных технологических сортов.

При подаче смеси руд значения задающей функции *(ЗФ)* рассчитывают как средневзвешенное значение для базовых значений для фиксированных технологических сортов руд *($ЗФ_i$)* по уравнению: $ЗФ = \Sigma\gamma_i \, ЗФ_i$, где γ_i – относительная массовая доля *i*-того сорта руды в смеси руд, поступающей на переработку.

Разработанная матрица параметров была использована для управления процессами измельчения и классификации на основе оценки сортности руды на обогатительной фабрике СП «Эрдэнэт». Результатами проведенных испытаний на промышленном процессе было показано, что за счет оценки сортности руды возрастает на 5–7% устойчивость регулирования и качество измельчения. Как видно из табл. 3, применение разработанного способа оценки сортности руды и управления процессом рудоподготовки обеспечивает рост производительности передела на 1,5% и стабилизацию гранулометрического состава измельченной руды. Выбор оптимальной степени измельчения для руды с учетом ее сортности и стабилизация процесса измельчения обеспечивают повышение показателей процесса коллективной флотации (табл. 3).

Анализ конечных показателей обогащения показал ее эффективность и возможность увеличения технологических показателей: производительности по руде на 1,3%, извлечения меди и молибдена в товарные концентраты на 0,3 и 0,5%. При этом видно, что достигается хорошее совпадение (ошибка не более 1%) расчетных и измеренных средних значений технологических параметров процессов измельчения и классификации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Улитенко К.Я., Соколов И.В., Морозов В.В.* Разработка и внедрение комплекса средств управления процессами измельчения на обогатительной фабрике САСА // Материалы международной научно-практической конференции «Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья». Екатеринбург, 2010. С. 77–81.

2. *Улитенко К.Я., Морозов В.В., Бокани Л.* Разработка и обоснование методов повышения эффективности процессов рудоподготовки на основе применения многоуровневых адаптивных систем регулирования // Материалы международной научно-практической конференции «Плаксинские чтения». Казань, 2010. С. 19–22. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Улитенко Константин Яковлевич – кандидат технических наук, заместитель генерального директора НПО «Союзцветметавтоматика», *e*-mail: ulitenko@scma.ru,
Морозов Валерий Валентинович – доктор технических наук, заведующий кафедрой, Московский государственный горный университет, *e*-mail: dchmggu@mail.ru.

UDC 622.765

LAWS OF CHANGES OF ENVIRONMENT COMPONENTS UNDER THE INFLUENCE OF OIL-AND-GAS RESEARCH DRILLING WORKS IN THE BAIKITSKAYA ANTYCLISE

Ulitenko K.Ya., Candidate of Engineering Sciences, Deputy General Director of the Scientific Production Association «Sojuzcvetmetavtomatika», *e*-mail: ulitenko@scma.ru,
Morozov V.V., Doctor of Technical Sciences, Head of Chair, Moscow State Mining University, *e*-mail: dchmggu@mail.ru.

The example of working out and application an modern model-based adaptive control system by crushing and classification process copper-molibdenum ores is resulted. The basic approach is application for management of processes of algorithm operative an estimation of a rating of ore. The recommended parametres have been applied at management of processes of crushing and classification at concentrating factory of Joint venture «Jerdjenjet». By results of the spent tests on industrial process increase on 5–7% of stability of regulation and quality of crushing has been shown.

Key words: *crushing and grinding processes, ore grading classification, fineness, drum charge, grinding process control system.*

REFERENCES

1. Ulitenko K.Ja., Sokolov I.V., Morozov V.V. *Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Nauchnye osnovy i praktika pererabotki rud i tehnogennogo syr'ja»*, Ekaterinburg, 2010, pp. 77–81.
2. Ulitenko K.Ja., Morozov V.V., Bokani L. *Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Plaksinskie chtenija»*, Kazan, 2010, pp. 19–22.