УДК 622.7:658.5

Е.Е.АНДРЕЕВ, *канд. техн. наук, доцент, (812) 328-82-85*
В.В.ЛЬВОВ, *канд. техн. наук, ассистент, (812) 328-82-85*
Н.В.НИКОЛАЕВА, *канд. техн. наук, ассистент, (812) 328-82-85*
Санкт-Петербургский государственный горный университет

E.E.ANDREEV, *PhD in eng. sc., associate professor, (812) 328-82-85*
V.V.LVOV, *PhD in eng. sc., assistant lecturer, (812)328-82-85*
N.V.NIKOLAEVA, *PhD in eng. sc., assistant lecturer, (812)328-82-85*
Saint Petersburg State Mining University

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ДВУХСТАДИАЛЬНОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ОФ-1 ГМК «ПЕЧЕНГАНИКЕЛЬ»

Разработан алгоритм и система оптимального управления циклом двухстадиального мокрого измельчения для Ждановской обогатительной фабрики ГМК «Печенганикель». Проведено компьютерное моделирование, позволяющее определить оптимальные установки к системам оптимизации, реализующих разработанный алгоритм. Разработана функциональная схема автоматизации, позволяющая внедрить разработанный алгоритм и систему оптимального управления.

***Ключевые слова*:** автоматизация, измельчение, оптимизация, управление.

AUTOMATION OF TWO STADIAL GRINDING FOR EXAMPLE MINERAL SEPARATION PLANT GMK «PECHENGANICKEL»

The algorithm and system optimal control of two-cycle by stages for mineral separation plant GMK «Pechenganickel». Computer modeling, which allows to determine the optimal set of optimization systems that implement the developed algorithm. A functional diagram of automation, allows the implementation algorithm and a system of optimal control.

***Key words*:** automation, milling, optimization, control.

Одна из причин низких показателей технологического процесса* (рис.1) на первой секции измельчения ОФ ГМК «Печенганикель» – это отсутствие функционирующих систем стабилизации выходных показателей качества (плотность и гранулометрический состав) готового продукта измельчения.

Для разработки алгоритма управления качеством готового продукта было проведено математическое моделирование процесса измельчения обеих стадий измельчения с помощью компьютерного пакета JKSimMet** (рис.2, 3). На математических моделях рассчитывались режимные параметры процесса (см. таблицу) при изменении производительности секции с 350 до 420 т/ч с шагом в 10 т/ч. Была выбрана стратегия управления, ориентированная на стабилизацию плотности слива гидроциклонов в I стадии и гранулометрического состава (по расчетному классу крупности −0,074 мм) слива гидроциклонов во II стадии измельчения.

* *Андреев Е.Е.* Дробление, измельчение и подготовка сырья к обогащению: Учебник / Е.Е.Андреев, О.Н.Тихонов; СПГТИ. СПб, 2007. 440 с.

Andreev E.E., Tikhonov O.N. Crushing and preparation of raw material for enrichment: the Textbook; SPMI. Saint Petersburg, 2007. 440.

** JKSimMet User Manual and Supplementary Information Manual // JKTech. Indooroopilly, Qld., Australia. 1989. Version 4. Release 1.

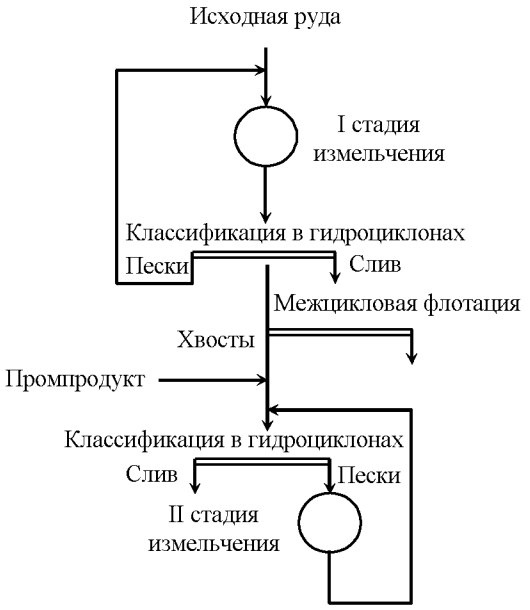


Рис.1. Технологическая схема двухстадиального замкнутого цикла мокрого измельчения

Моделирование проводилось при следующих ограничениях (константах).

Для I стадии измельчения:

1) содержание твердого на сливе мельницы 70 %;

2) содержание твердого в сливе гидроциклонов 38,6 %;

3) число работающих гидроциклонов 4 шт. (D = 600 мм).

Для II стадии измельчения

1) содержание твердого в питании гидроциклонов 50 %;

2) содержание твердого на сливе мельницы 69,5 %;

3) выход промпродукта флотации 20 %;

4) содержание класса –0,074 мм в сливе гидроциклонов 86 %;

5) число работающих гидроциклонов 27 шт. (D = 350 мм).

Остальные параметры работы секции измельчения соответствовали принятым на ОФ режимным значениям.

Цель моделирования – расчет расходов воды в мельницы и зумпфы, давлений на входе в гидроциклоны I и II стадий, а также плотности питания и содержания класса –0,074 мм в сливе гидроциклонов I стадии и плотности слива гидроциклонов II стадии измельчения.

Параметры моделирования представлены в таблице и на рис.3, 4. На рисунках данные приведены в процентах по отношению к базовому варианту Q = 350 т/ч. Эти данные положены в основу разработанного алгоритма.

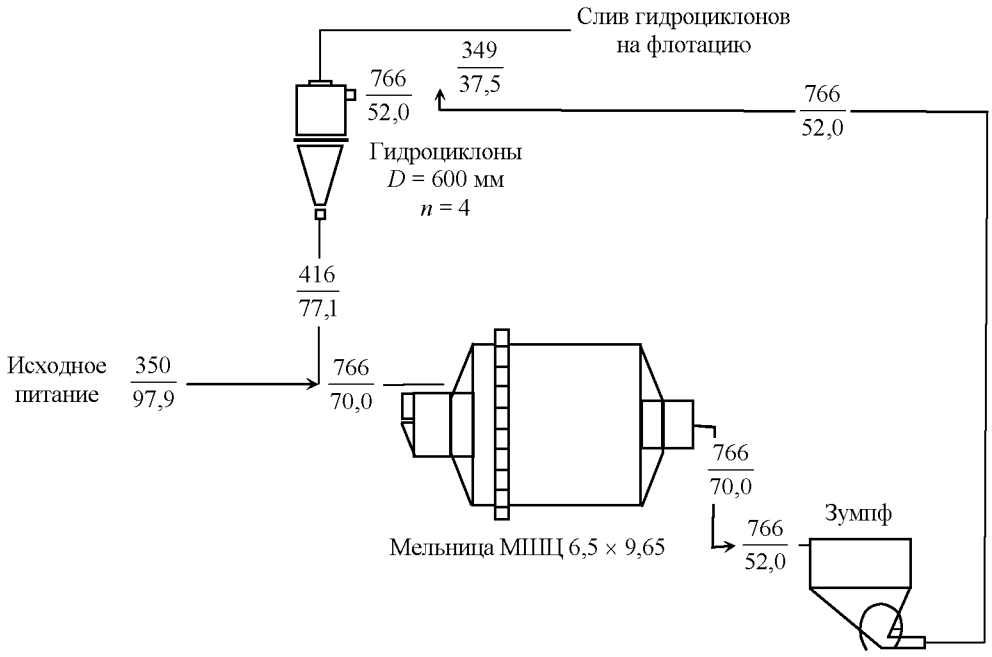


Рис.2. Схема цикла I стадии измельчения.
В числителе – тонна в час твердого, в знаменателе процент твердого

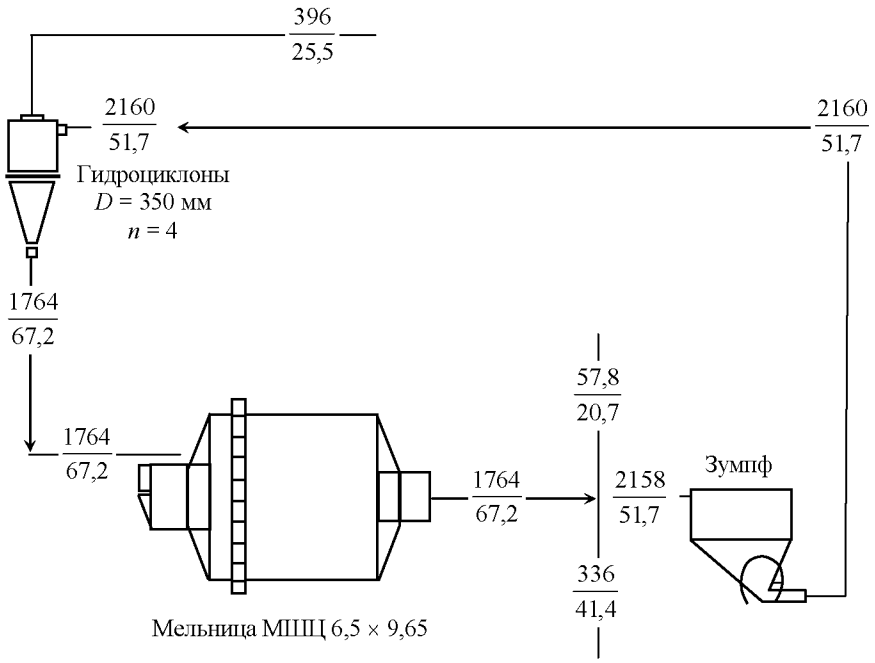


Рис.3. Схема цикла II стадии измельчения
В числителе – тонна в час твердого, в знаменателе процент твердого

Зависимость параметров процесса измельчения от производительности 1-й секции

Параметры	Единица измерения	Производительность 1-й секции, т/ч							
		350	360	370	380	390	400	410	420
I стадия измельчения									
Слив гидроциклона Ø 600 мм	–0,074 мм	48,24	47,77	47,32	46,86	46,41	45,96	45,57	45,17
	% (отн.)	100,0	99,00	98,00	97,10	96,20	95,30	94,50	93,60
Вода в мельницу	$м^3$/ч	211,6	224,6	236,6	249,6	261,6	272,6	285,6	298,6
	$м^3$/мин	3,530	3,740	3,940	4,160	4,360	4,54	4,760	4,980
Вода в зумпф разгрузки мельницы	$м^3$/ч	337,0	340,0	345,0	348,0	351,0	354,0	359,0	362,0
	$м^3$/мин	5,620	5,670	5,750	5,800	5,850	5,900	5,980	6,030
	% (отн.)	100,0	100,9	102,3	103,2	104,1	105,0	106,4	107,3
Давление на входе в гидроциклон	КПа	40,95	43,12	45,39	47,66	50,01	52,26	54,83	57,34
	% (отн.)	100,0	105,3	110,8	116,4	122,1	127,6	133,9	140,0
Питание гидроциклонов	% твердого	53,70	54,00	54,.20	54,40	54,70	54,90	55,10	55,30
	% (отн.)	100,0	100,4	100,9	101,3	101,9	102,2	102,6	103,0
II стадия измельчения									
Слив гидроциклона Ø 350 мм	% твердого	28,30	7,90	27,50	26,90	26,10	25,20	24,30	23,23
	г/л	1225	1221	1217	1212	1204	1196	1187	1177
	% (отн.)	100,0	98,50	97,00	95,00	93,00	90,00	86,00	82,00
Вода в мельницу	$м^3$/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	40,70	80,30	126,9	182,8
	$м^3$/мин	0,00	0,00	0,00	0,00	0,68	1,34	2,16	3,05
Вода в зумпф разгрузки мельницы	$м^3$/ч	325,0	358,0	393,0	428,0	460,0	498,2	543,9	599,5
	$м^3$/мин	5,41	5,97	6,55	7,13	7,66	8,30	9,07	10,00
	% (отн.)	100,0	110,7	121,3	131,8	141,6	153,4	167,6	184,8
Давление на входе в гидроциклон	КПа	71,20	75,90	80,90	86,70	95,00	104,6	116,2	184,8
	% (отн.)	100,0	106,6	113,6	121,6	133,4	147,0	163,0	230,6

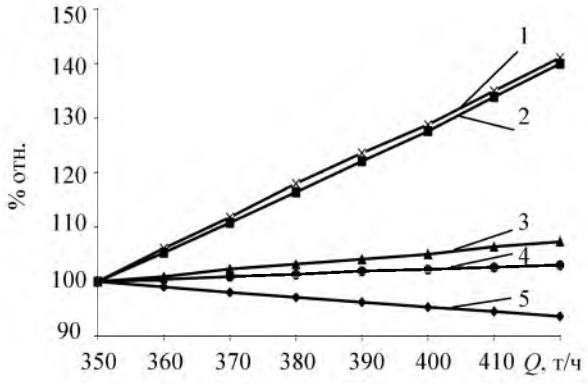


Рис.4. Зависимость параметров процесса измельчения от скорости подачи руды для I стадии

1 – расход воды в мельницу; 2 – давление на входе в гидроциклон; 3 – расход воды в зумпф; 4 – твердого в питании гидроциклона, %; 5 – крупность –0,074 мм на сливе гидроциклона, %

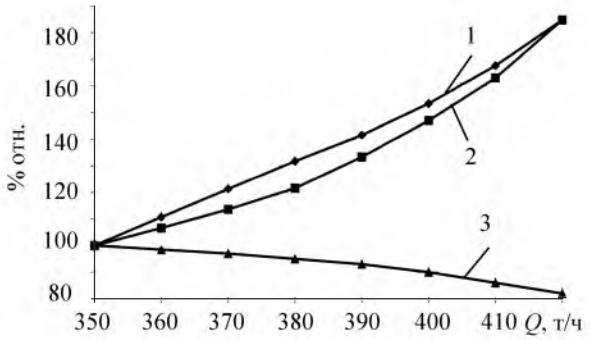


Рис.5. Зависимость параметров процесса измельчения от скорости подачи руды для II стадии

1 – расход воды в зумпф; 2 – давление на входе в гидроциклон; 3 – плотность слива гидроциклона

С учетом технических средств и конфигурации схемы целесообразно стабилизировать плотность слива гидроциклонов I стадии по давлению на входе в гидроциклон (рис.4), а во II стадии – поддерживать заданную крупность помола по классу –0,074 мм (рис.5), стабилизируя требуемую (свою для каждой производительности) плотность пульпы на сливе гидроциклонов II стадии измельчения.

Система реализуется в рамках АСУТП ОФ при трехуровневом управлении. На первом (нижнем) уровне высокочастотные возмущения вызваны колебаниями показателей материальных потоков с периодом в несколько минут. На втором (среднем) уровне стабилизируются среднечастотные колебания показателей качества с периодом в десятки минут. На третьем (верхнем) обычном уровне оптимизации, возмущения обусловлены длительными изменениями технологического режима и показателями качества с периодом часы и более. Согласно алгоритму внутренний контур стабилизации расхода воды в зумпф компенсирует высокочастотные колебания, связанные, в частности, с изменениями напора в водной магистрали. Возмущения средней частоты, связанные с изменениями показателей плотности пульпы, компенсируются в контуре стабилизации плотности слива гидроциклона. Оптимизация качества помола осуществляется на верхнем уровне управления. Показателем качества может быть выбрана циркулирующая нагрузка агрегата, контролируемая, например, по мощности двигателя насоса.

Управляющий сигнал с этого уровня изменяет задание для контура стабилизации плотности. Желательно использование насосов с регулируемым приводом и стабилизация уровня пульпы в зумпфе с воздействием на частоту вращения электродвигателя привода насоса.

В статье описан алгоритм управления гранулометрическим составом продукта измельчения на II стадии; I стадия регулируется аналогично, но стабилизируется не плотность, а давление на входе в гидроциклон. При разработке алгоритма и системы оптимизации управления двухстадиальным циклом использовался опыт кафедры обогащения полезных ископаемых Санкт-Петербургского горного университета.

Бесперебойная и высокоэффективная работа гидроциклонной установки возможна лишь при наличии адекватной системы автоматического управления процессом классификации. Автоматическое управление должно включать элементы систем автоматического контроля и стабилизации.

Система автоматического контроля:

- уровня пульпы в зумпфе насоса гидроциклона;
- расхода воды в зумпф насоса гидроциклона;

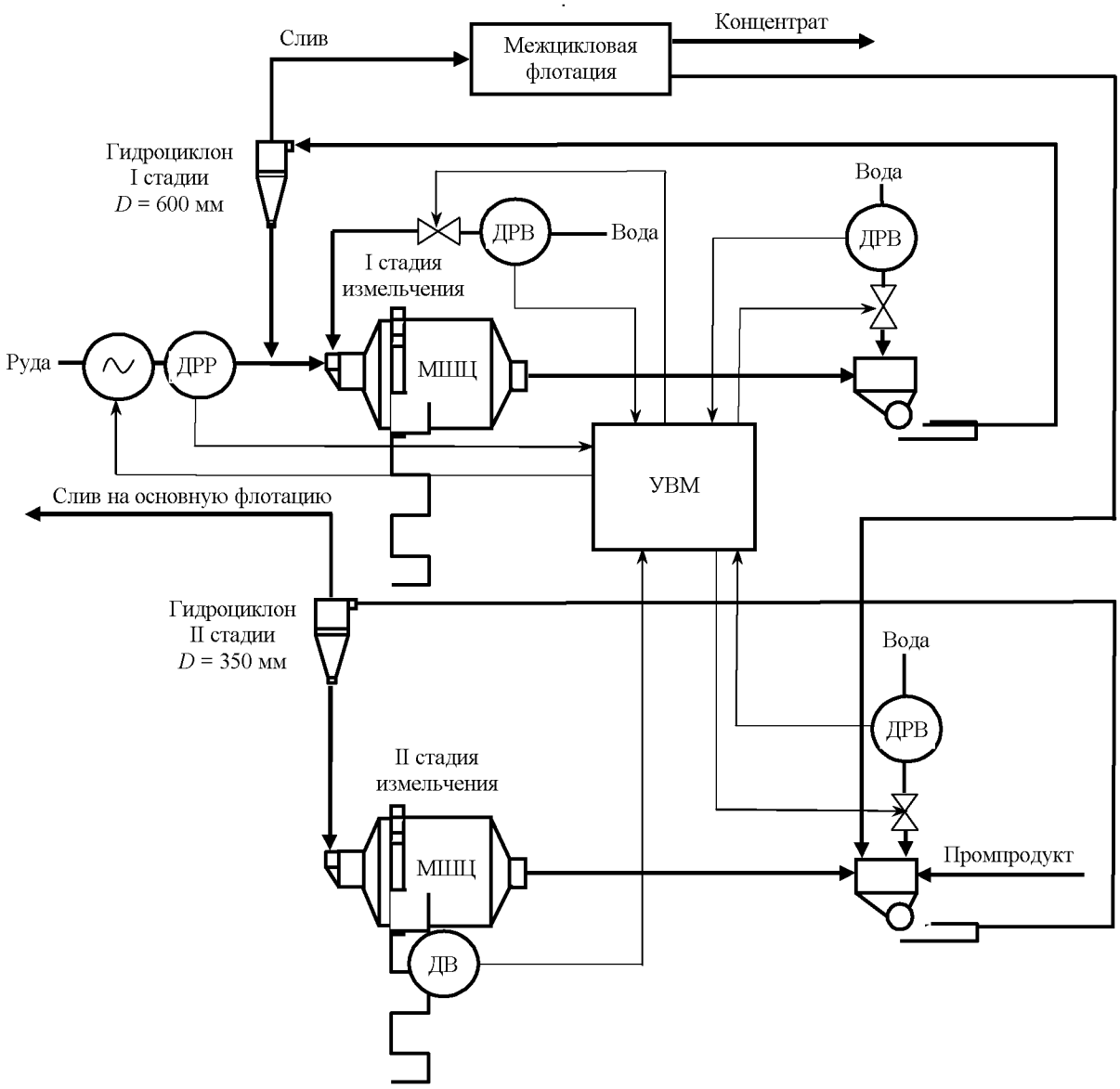


Рис.6. Структурная схема управления качеством готового продукта на I секции измельчения на ОФ-1 ГМК «Печенганикель»
ДРВ – датчик расхода воды; ДРР – датчик расхода руды; ДВ – датчик веса; УВМ – управляющая вычислительная машина

• плотности слива гидроциклона;

• гранулометрического состава продукта классификации;

• активной потребляемой мощности двигателем насоса;

• давления на входе в гидроциклон.

Система стабилизации:

• расхода воды в зумпф насоса гидроциклона;

• уровня пульпы в зумпфе насоса гидроциклона;

• плотности пульпы на сливе гидроциклона.

На рис.6 представлена схема системы управления двухстадиальной гидроциклонной установкой на примере первой секции измельчения ОФ-1 ГМК «Печенганикель».