

РАЗРАБОТКА ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 681.142.2:622.271.3

РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ «УСРЕДНИТЕЛЬНЫЙ СКЛАД» ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ КАЧЕСТВА ПОЛЕЗНОГО ИСКОПАЕМОГО В КАРЬЕРЕ

Стаценко Л.Г., Брановец Н.Е.

Рудненский индустриальный институт, Казахстан

Аннотация. Описана информационная система для формирования эффективных технологических схем горных работ в карьере, обеспечивающих требуемое качество руды, подаваемой на обогащение. Модуль «Усреднительный склад» обеспечивает оптимальный порядок заполнения и разгрузки усреднительного склада. Используются методы имитационного моделирования и математического программирования.

Ключевые слова: усреднение руд, усреднительный склад, имитационная модель.

Усреднение как необходимый комплекс мероприятий при разработке месторождений открытым способом

Усреднение качества полезных ископаемых – это совокупность технологических и организационных мероприятий, проводимых с целью обеспечения необходимого постоянства качества твёрдых полезных ископаемых в процессе их добычи и первичной переработки [1].

Усреднению подвергают руды чёрных и цветных металлов, горно-химическое сырьё, ископаемые угли и другие полезные ископаемые. Необходимость усреднения качества возникает при существенной изменчивости показателей качества полезных ископаемых, поступающих на переработку, т.к. их нестабильность отрицательно влияет на технологию переработки и её экологические последствия. При переработке неоднородных по качеству полезных ископаемых снижаются извлечение полезных компонентов и выход конечной продукции, возрастают потери и материально-трудовые затраты. Так, уменьшение колебания железа в рудной шихте на 1% дает прирост производительности доменных печей на 4-6%, позволяет уменьшить расход кокса на 3% и известняка на 6-8%. Значительно улучшаются показатели металлургических заводов при плавке металлов из однородных руд и т.д. Поэтому обеспечение стабильности добываемого полезного ископае-

мого является одним из основных промышленных требований к его качеству [2].

Проблемы усреднения руд широко исследованы в трудах зарубежных и российских ученых и специалистов [3-7].

Усреднение качества включает в себя как технологические мероприятия горного производства, обеспечивающие благоприятные условия для смешивания, и усреднение качества в процессе добычи (изменения системы разработки и её параметров, средств механизации, общей технологии, схемы добычи и первичной переработки полезных ископаемых), так и организационно-управляющие действия. Начинается процесс усреднения качества с перспективного и текущего планирования горных работ и продолжается при оперативном управлении. При планировании в соответствии с плановыми объёмами и качеством полезных ископаемых устанавливают направление развития горных работ и конкретные участки и блоки месторождения, подлежащие отработке в планируемые календарные сроки (вплоть до суточных и сменных). На втором этапе оперативного управления регулируется нагрузка на забои в зависимости от достигнутого объёма и качества полезных ископаемых в участковых и общерудничных грузопотоках и фактического качества руды в забоях. Третьей фазой усреднительного процесса осуществляется в процессе формирования транспортных потоков, обеспечивающих необходимое

смешивание полезных ископаемых в участковых и общерудничном звеньях. Четвертый и наиболее эффективный этап – перегрузка руд на внутрикарьерных складах, аккумулятивное полезных ископаемых в рудопусках, камерах околостольного двора, а также в бункерах и штабелях на поверхности.

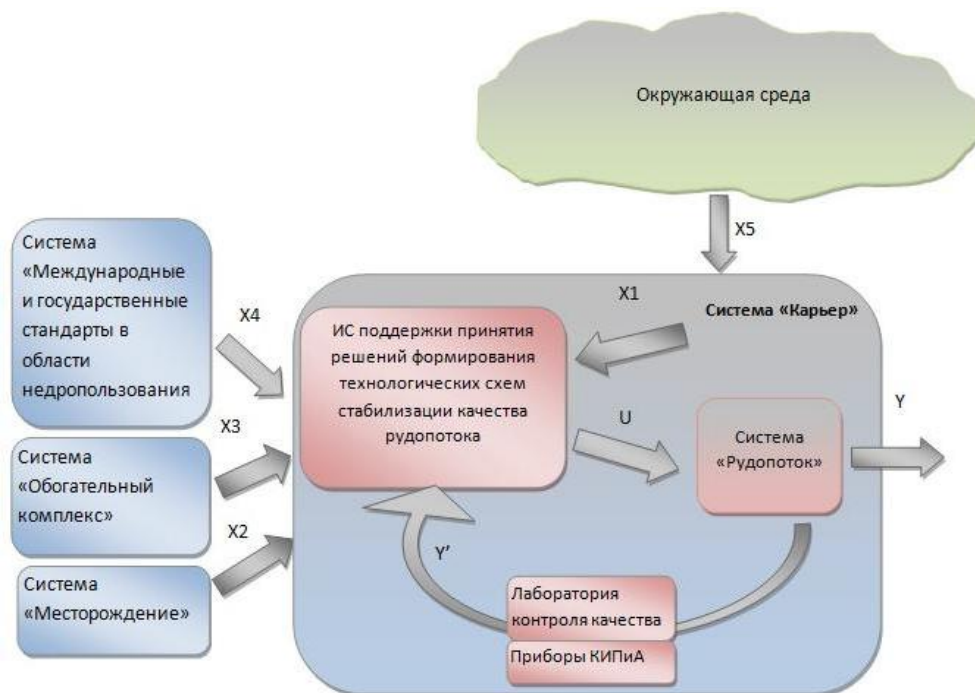
Для планирования и оперативного управления горными работами в карьерах в режиме усреднения, как правило, используются математические методы исследования операций – имитационное моделирование, линейное и нелинейное программирование, статистические методы и др. При этом устанавливают наиболее вероятную картину распределения во времени качества полезных ископаемых по забоям, исходя из чего определяют объёмы добычи из каждого забоя и соответственно количество погрузочных и доставочных средств, резервные забои и оборудование.

Информационная система стабилизации качества полезного ископаемого в карьере

Целью данного исследования является разработка информационной системы поддержки принятия решений формирования эффективных технологических схем стабилизации качества рудопотока в карьере посредством оптимизации технологических схем выемки, транспортных потоков и технологии усреднения на складах, проводимая в рамках гранта МОН РК, выполняемого по бюджетной программе 055 «Научная и/или научно-техническая деятельность» (№ госрегистрации 0112РК02423).

Информационная система представляет собой интегрированное решение, обеспечивающее планирование и оперативное управление на всех четырех стадиях усреднения.

Система управления качеством рудопотока может быть описана в рамках кибернетического подхода теории систем (рис. 1).



X1 – параметры карьера: производственная мощность, способ разработки, технологические схемы отработки, горнотранспортная система;

X2 – параметры обогатительного комплекса: требуемое качество и объем рудопотока;

X3 – горно-геологические параметры месторождения: условия залегания, тип оруденения, минимальное промышленное содержание, запасы;

X4 – нормативные требования ограничений, накладываемых законодательством на параметры горных работ;

X5 – климатические и горно-геологические условия;

U – технологические схемы и параметры усреднения;

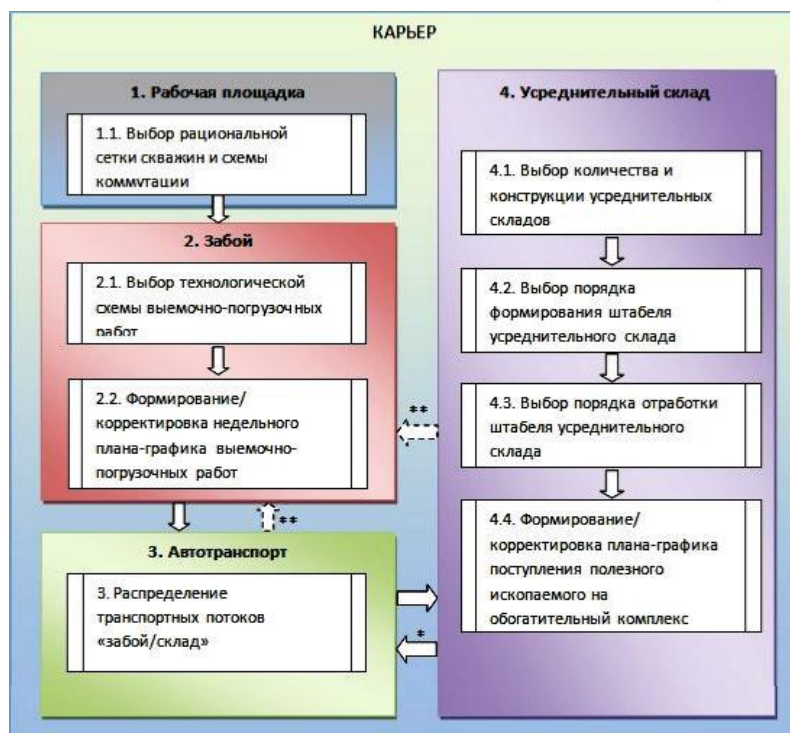
Y – параметры рудопотока на выходе из карьера;

Y' – «Обратная связь», обеспечиваемая контролем параметров рудопотока лабораторией и приборами

Рис. 1. Кибернетическое описание ИС управления качеством рудопотоков

Модульная структура информационной системы

Анализ способов усреднения и задач оперативного планирования и управления горнодобывающих предприятий позволил выделить четыре взаимосвязанных модуля системы, осуществляющих моделирование всего цикла добычи полезного ископаемого до момента подачи на обогащение: планирование развития горных работ – модуль «Рабочая площадка», выемка и погрузка – модуль «Забой», транспортировка – модуль «Автотранспорт» и складирование – модуль «Усреднительный склад» (рис. 2).



* Корректировка выполняется в случае невозможности достижения требуемого уровня стабилизации качества модулем «Усреднительный склад»

** Корректировка выполняется в случае невозможности достижения требуемого уровня стабилизации качества модулями «Усреднительный склад» и «Автотранспорт»

Рис. 2. Укрупненная модульно-функциональная структура информационной системы принятия решений формирования технологических схем стабилизации качества рудопотока

Модуль «Усреднительный склад»

Каждый модуль соответствует одному из этапов усреднения. Если результат на конечном этапе не достигнут – руда на выходе склада не соответствует требованиям обогатительного комплекса, то происходит возврат на предыдущий этап и моделирование повторяется, пока не будет получен рудопоток требуемого качества.

В данной статье рассмотрено алгоритмическое решение задачи усреднения на внутрикарьерном складе, реализованное в программном модуле «Усреднительный склад».

Предложена технология загрузки склада, которая позволяет оперативно распределять прибывающие для разгрузки автосамосвалы по зонам склада, так чтобы обеспечить наименьшее отклонение в отгружаемых порциях от планового качества руды.

Склад представлен в виде двумерного массива. В качестве входных параметров модели используются его геометрические параметры – ширина, длина, высота, а также плановое значение

качества руды на выходе склада:

- W – ширина склада (м);
- L – длина склада (м);
- H – высота склада (м);
- P_o – плотность руды (t/m^3);
- $Plan$ – плановое значение качества руды, (%).

Алгоритм модели:

1. Задаются геометрические параметры усреднительного штабеля, плановое значение усредняемого компонента на выходе склада, параметры транспорта.

2. Генерируется значение качества руды во вновь прибывающем на склад автосамосвале: Sam – значение качества в прибывшем самосвале (%).

3. В зависимости от заданной величины ширины склада случайным образом заполняется первая строка таблицы зон (отсыпается первый слой штабеля).

4. Для каждой зоны определяется среднее значение ее слоев и их количество (средние значения по столбцам (зонам) выводятся в следующей строке таблицы: $SrZnach$ (%)).

5. Для каждого прибывающего автосамосвала определяется отклонение планового значения от значения качества прибывшего самосвала по формуле

$$PlanOtkl = Plan - Sam (\%). \quad (1)$$

Отклонение планового значения качества от среднего значения по зонам вычисляется по формуле

$$StOtkl = Plan - SrZnach (\%). \quad (2)$$

Условие вхождения зоны в поле альтернатив для возможной разгрузки определяется следующим образом:

– если среди отклонений по зонам нет значений, удовлетворяющих условию: отклонение значения качества руды в самосвале от плана > 0 и отклонение среднего качества по зонам от плана < 0 или отклонение значения качества руды в самосвале от плана < 0 и отклонение среднего качества по зонам от плана > 0 , то среди имеющихся значений находим минимальное абсолютное значение: $\min$ и координаты зоны минимального элемента: $NSloy$ – координата строки, $NZona$ – координата столбца;

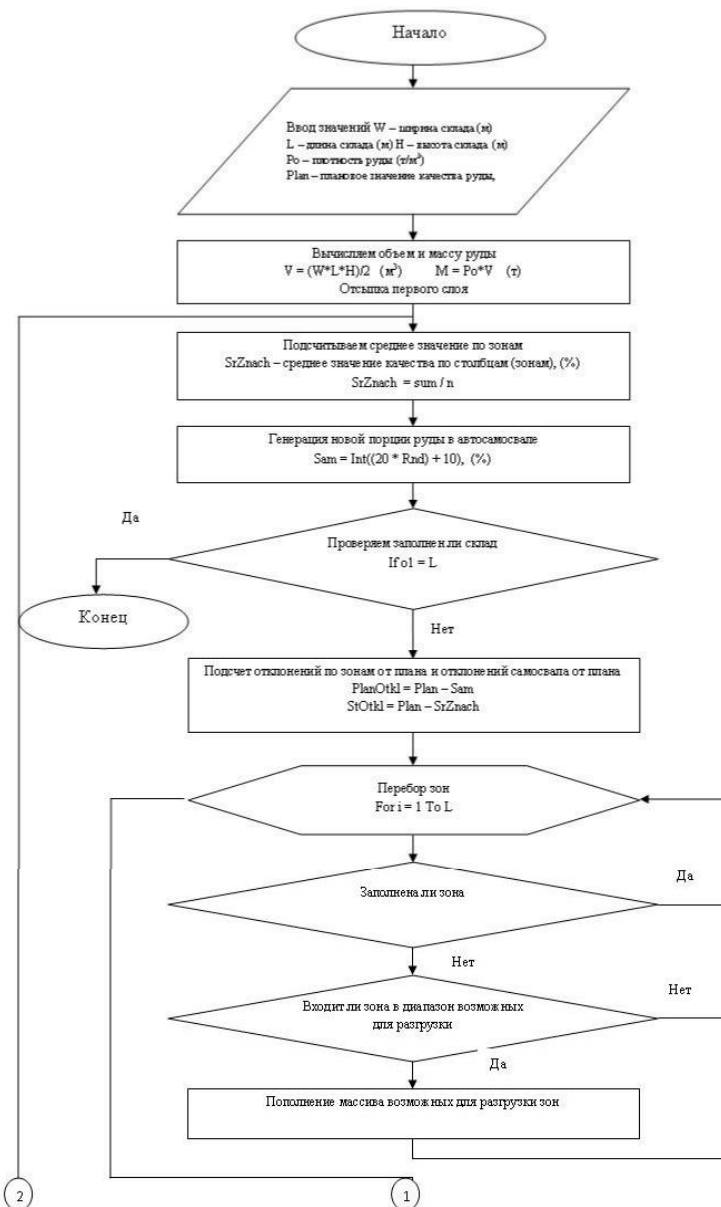
– если среди отклонений по зонам есть значения, удовлетворяющие условию: если отклонение значения качества руды в самосвале от плана > 0 и отклонение среднего качества по зонам от плана < 0 или отклонение значения качества руды в самосвале от плана < 0 и отклонение среднего качества по зонам от плана > 0 , то

среди имеющихся значений находим максимальное абсолютное значение: $\max$ и координаты зоны максимального элемента: $NSloy$ – координата строки, $NZona$ – координата столбца.

Следующий самосвал разгружается на складе согласно полученным выше координатам, после чего производится пересчет средних значений качества по зонам, количества слоев в зонах, величин отклонений.

Далее действия повторяются с момента генерации нового значения качества пришедшего на склад самосвала. Условием выхода из алгоритма является полное заполнение склада.

Программная реализация приведенного на рис. 3 и описанного выше алгоритма позволяет формировать оптимальную последовательность разгрузки автосамосвалов в зонах усреднительного склада.



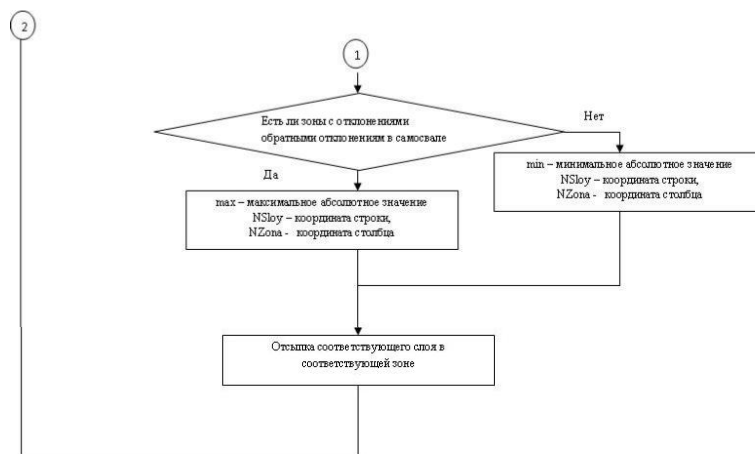


Рис. 3. Блок-схема алгоритма модели

Результаты моделирования

Для моделирования использованы данные о плановом и реальном содержании железа карьеров Северного Казахстана: Качарского, Сарбайского, Куржункульского, Соколовского и Лисаковского. Вид типового внутрикарьерного усреднительного склада приведен на рис. 4.



Рис. 4. Перегрузочно-усреднительный склад железной руды в карьерах Северного Казахстана

Стабилизация качества руд этих месторождений осуществляется по содержанию в руде железа (Fe) как полезного компонента и серы как вредного компонента. Среднее плановое содержание Fe в железной руде составляет 35-40%, колебания в руде, поступающей на усреднительный склад, – в диапазоне от 15 до 55%, содержание серы в руде колеблется от 0,5 до 5,3%, среднее – 2,2%.

Модель имеет ограничение – возможность управления по одному показателю качества – содержанию железа.

В связи с этим моделирование проводилось на основе параметров представленных в таблице.

Параметры параметров процесса усреднения на складе

Параметры моделирования	Значение для моделирования
Геометрические параметры усреднительного склада:	
длина	18-62 м
ширина	28 м
высота	7-8 м
Плотность железной руды	3,6 т/м ³
Ширина кузова автосамосвала	6,4 м
Грузоподъемность автосамосвала	120 т
Плановое содержание железа в руде, %	30-35

Контролируемым параметром модели является относительное отклонение σ_{Fe} содержания железа в руде от планового значения.

Рис. 5. Форма ввода исходных данных для моделирования

Форма ввода исходных данных приведена на рис. 5. Результатом моделирования является заполненный массив склада, представленный на рис. 6, а также выходные параметры рудопотока – среднее содержание железа по зонам склада и среднеквадратическое отклонение содержания от планового значения. На рис. 6, а визуально заметно, что при разгрузке по схеме обеспечивается более равномерное смешивание разнокачественных слоев руды, тогда как рис. 6, б свидетельствует о наличии явно выраженных «бедных» и «богатых» рудных зон. Таким образом, в первом случае будет обеспечиваться наилучшее усреднение рудопотока.

48	28	30	35	42	54	25	46	28	34	47
53	27	31	46	25	36	49	18	53	16	41
24	30	35	30	54	44	27	24	35	24	44
50	31	42	22	25	33	44	46	44	33	51
25	52	36	41	25	38	28	28	29	31	25
26	25	30	33	45	27	24	35	28	37	25
51	33	26	47	31	31	34	38	52	38	47
36	36	49	23	49	34	51	31	29	43	28
38	39	39	48	19	39	28	51	26	18	21
25	19	31	23	44	23	29	18	25	32	35
42	31	42	24	19	53	29	43	40	54	45
23	42	26	42	52	24	54	23	19	13	46
40	30	32	17	24	29	30	52	41	54	30
50	50	31	46	53	16	18	28	43	18	42
30	17	49	15	25	46	49	20	18	22	28
21	51	26	53	29	34	21	54	32	49	43
22	22	37	21	19	37	40	23	53	21	19
33	21	31	44	44	26	28	17	28	32	25

а

26	26	31	43	37	53	27	25	29	26	53
26	40	31	53	42	34	41	18	52	18	46
19	15	21	51	18	43	52	21	47	52	48
45	47	33	18	35	37	26	22	29	26	37
15	54	45	17	29	15	44	24	43	36	45
19	31	18	27	17	26	33	54	23	51	42
18	41	36	26	35	32	30	53	54	45	27
35	53	44	39	21	53	48	24	54	53	48
18	34	48	53	54	50	44	25	34	44	37
28	46	52	41	52	52	50	50	21	40	48
34	34	51	48	39	39	39	51	24	42	34
37	31	31	35	49	54	38	34	40	53	28
18	41	53	38	18	42	18	20	24	25	36
26	23	42	23	44	18	51	43	48	29	43
37	37	52	30	22	39	28	53	45	20	20
18	45	33	18	53	31	24	52	29	24	46
50	42	42	26	37	44	43	51	49	38	10
45	31	28	21	29	39	50	38	54	35	41

б

Рис. 6. Результат моделирования – заполненный склад: а - с разгрузкой по схеме на основе предложенного алгоритма; б – с бессистемной разгрузкой

По результатам экспериментов среднеквадратическое отклонение содержания железа в зонах склада от планового и среднего значений при

разгрузке самосвалов по схеме ниже в 1,2-3 раза, чем при бессистемной разгрузке.

Выводы

Модель усреднительного склада отражает существенные свойства складов отвального типа с автомобильно-железнодорожным транспортом, организуемых в карьерах, и пригодна для формирования эффективных схем разгрузки автосамосвалов с учетом усреднения руды по одному из полезных компонентов. Предварительные результаты моделирования получены с использованием среды программирования VBA и позволяют сделать положительные выводы о возможности практического внедрения модуля в составе системы поддержки принятия решений для формирования эффективных технологических схем стабилизации качества полезного ископаемого в карьере.

Список литературы

1. Усреднение качества. Горная энциклопедия [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.mining-enc.ru/u/usrednenie-kachestva/> (дата обращения: 25.12.2012).
2. Месторождения железа Казахстана: справочник / Л.А. Мирошниченко, З.Т. Тилепов, Н.Я. Гуляева и др. Алматы: Комитет геологии и охраны недр Министерства экологии и природных ресурсов Республики Казахстан, 1998. 485 с.
3. Бастан П.П., Азбель И.И., Ключкин Е.И. Теория и практика усреднения руд. М.: Недра, 1979. 255 с.
4. Стаценко Л.Г. Моделирование рудопотока на входе усреднительного склада // Промышленность Казахстана. 2008. №2 (47). С. 43-47.
5. Стаценко Л.Г. Разработка программного модуля «модель усреднительного склада» // VI Международная научно-практическая конференция «ГЕОТЕХНОЛОГИЯ-2007: Проблемы и пути устойчивого развития горнодобывающих отраслей промышленности»: тез. докл. Алматы, 2007. С. 115-118.
6. Gy P.M. A new theory of bed-blending derived from the theory of sampling. Development and full-scale experimental check. P.M. Gy // International Journal of Mineral Processing. 1981. Vol. 8, P. 201-238.
7. Robinson G.K. How much would a blending stockpile reduce variation? / G.K. Robinson // Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems. 2004. Vol. 74, P. 121-133.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

THE "BLENDING STOCKYARD" MODULE DEVELOPMENT FOR INFORMATION SYSTEM STABILIZATION QUALITY OF MINERALS IN THE QUARRY

Statsenko Larissa Gennadevna – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Rudny Industrial Institute, Kazakhstan. E-mail: stacenko_larisa@mail.ru.

Branovets Natalya Evgenevna – Senior Lecturer, Rudny Industrial Institute, Kazakhstan. E-mail: branovetsne@mail.ru.

Abstract. The paper describes information system for designing efficient technological schemes for open pit min-

ing operations to meet quality requirements of ore fed to the processing plant. Information system's module "Blend-

ing stockyard” developed by authors allows us to use an optimal scheme of loading and unloading blending stockyard. Methods of simulation modeling and programming are used to develop the algorithm of the module.

Keywords: ore blending, blending stockyard, simulation model.

References

1. Blending of minerals. Mining Encyclopedia [Electronic resource]. Access mode: <http://www.mining-enc.ru/u/usrednenie-kachestva/>.
2. Miroshnichenko L.A., Tilepov Z.T., Gulyaev N.Y. and others. *Mestorozhdeniya zheleza Kazakhstana: spravochnik* [Iron Deposits of Kazakhstan]. Almaty: Committee of Geology and Subsoil Protection of the Ministry of Ecology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan, 1998. 485 p.
3. Bastan P.P., Azbel I.I., Klyuchkin E.I. *Teoriya i praktika usredneniya rud* [Theory and practice of ore blending]. Moscow: Nedra, 1979. 255 p.
4. Statsenko L.G. Ore – Flow Simulation at the entrance of the blending stockyard. *Promyshlennost' Kazakhstana* [Industry of Kazakhstan]. 2008, no. 2(47), pp. 43-47.
5. Statsenko L.G. Development of the software module «Blending stockyard model». VI International Scientific and Practical Conference «GEOTECHNOLOGY 2007: Problems and Means for Sustainable Development of Mining Industry»: Theses of reports, Almaty, 2007, pp. 115-118.
6. Gy P.M. A new theory of bed-blending derived from the theory of sampling. Development and full-scale experimental check. *International Journal of Mineral Processing*. 1981, vol. 8, pp. 201-238.
7. Robinson G.K. How much would a blending stockpile reduce variation? *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*. 2004, vol.74, pp. 121-133.

УДК 669.337

КОМБИНИРОВАННЫЙ МЕТОД ПЕРЕРАБОТКИ ЗАБАЛАНСОВОЙ МЕДНОЙ СУЛЬФИДНОЙ РУДЫ

Каримова Л.М.

ТОО «Инновация», г. Караганда, Казахстан

Аннотация. Рассмотрена технологическая схема переработки забалансовой медной сульфидной руды путем получения флотационного черного медного концентрата с последующим обжигом, сернокислотным выщелачиванием. Отработаны режимы переработки раствора экстракцией и получения катодной меди.

Ключевые слова: схема переработки, гранулы, медный концентрат, обжиг, выщелачивание.

Введение

Отвалы забалансовых и некондиционных руд, а также «отработанные» месторождения являются долговременным источником загрязнения окружающей среды за счет самопроизвольного выщелачивания из них меди, цинка, свинца, молибдена, мышьяка и других металлов. В решении этой проблемы ведущая роль принадлежит гидрометаллургическим способам получения цветных металлов, в частности подземному и кучному выщелачиванию. Эти способы позволяют вовлечь в переработку забалансовые и потерянные руды, которые повышают полноту и комплексность использования сырья и сокращают загрязнение окружающей среды.

Технологические разработки

Гидрометаллургические методы требуют сильных окислителей, которые являются дорогими и дефицитными, что существенно повышает себестоимость продукции.

На основании лабораторных исследований была разработана комбинированная схема переработки забалансового сырья [1].

По химическому составу забалансовая руда является высококремнистой, алюмосиликатной, в которой медные минералы руды представлены халькозином, борнитом, халькопиритом. Хими-

Таблица 1

Химический состав забалансовой медной руды, %

Cu _{общ}	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	S _{общ}	FeO	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	Ag, г/т
0,32	68,1	11,22	4,1	0,26	3,0	1,55	0,26	1,21	0,48	3,36	7

ческий состав руды представлен в табл. 1.

Измельчение руды проводили в лабораторной шаровой мельнице в течение 25, 40, 50 и 60 мин. Полученные данные представлены в табл. 2.

Флотацию проводили на флотомашине ФЛА-237 по известной схеме при расходе собирателя 50 г/т, Т-80-60 г/т, продолжительности 5 мин. Извлечение при этом составляет не менее 90% [1]. Результаты химического анализа основ-