

УДК 622.648.23:621.65:622.271.623

Б.А. Блюсс¹, д-р техн. наук, проф.,
Е.В. Семененко¹, д-р техн. наук, ст. науч. сотрудник,
В.Д. Шурыгин², канд. техн. наук

1 – Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова
Национальной академии наук Украины, г. Днепропетровск,
Украина, e-mail: evs_igtm@mail.ru
2 – Филиал ВГМК ЗАО „ТИТАН УКРАИНЫ“,
г. Вольногорск, Украина, e-mail: evs_igtm@mail.ru

ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ТЕХНОЛОГИЙ ДОБЫЧИ И ПЕРЕРАБОТКИ ТИТАН-ЦИРКОНОВОГО СЫРЬЯ

В.А. Bluss¹, Dr. Sc. (Tech.), Professor,
Ye.V. Semenenko¹, Dr. Sc. (Tech.),
Senior Research Fellow,
V.D. Shurygin², Cand. Sc. (Tech.)

1 – Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics of National
Academy of Sciences of Ukraine, Dnipropetrovsk, Ukraine,
e-mail: evs_igtm@mail.ru
2 – Subsidiary VGMK ZAO “TITAN UKRAINY”,
Volnogorsk, Ukraine, e-mail: evs_igtm@mail.ru

HYDROENGINEERING SYSTEMS IN TECHNOLOGIES OF TITANIC- ZIRCONIUM RAW MATERIAL MINING AND PROCESSING

Разработаны математические модели гидротехнических систем и метод расчета параметров и режимов работы гидротехнических систем технологий обогащения минерального сырья, учитывающие особенности технологий добычи и переработки, а также свойства материалов исходных и техногенных россыпей. Предложен метод расчета рациональных параметров и ресурсосберегающих режимов работы гидротехнических систем для технологий переработки титан-цирконового сырья, позволяющий снизить энергоемкость и водопотребление этих технологий.

Ключевые слова: пульпа, обратное водоснабжение, технологии добычи и обогащения

Актуальность темы. Анализ технологических схем горно-обогатительных (ГОК) и горно-металлургических комбинатов (ГМК) страны позволяет сделать следующие выводы относительно их структурных элементов, а также зависимости их параметров и режимов работы от различных факторов [1, 2, 6–8, 13, 18]:

1. Обязательными элементами производственного процесса являются внутризаводской гидротранспорт, гидротранспорт отходов обогащения, система складирования отходов обогащения, система осветления оборотной воды. При этом эффективность, надежность и рентабельность предприятия в целом формируются всеми указанными элементами.

2. Напорный и самотечный гидротранспорт служат связующими звеньями между наиболее крупными элементами технологической цепочки, а также применяются для перемещения концентратов, промпродуктов и отходов переработки внутри них.

3. Сформировавшаяся в конце прошлого века новая мировая тенденция развития технологий переработки минерального сырья направлена на объединение в одном технологическом элементе нескольких процессов.

4. Высокая степень концентрации производства и современные экологические требования ограничивают потребление водных и земельных ресурсов в регионах, где располагаются основные ГОКи и ГМК страны. Это делает актуальными вопросы модернизации систем складирования отходов и осветления оборотной воды, направленной на сохранение существующих объемов и земельных отводов.

Все вышеперечисленное позволяет выделить в существующих технологиях переработки минерального сырья системы, обеспечивающие транспорт пульпы, складирование отходов и снабжение производства оборотной водой за счет применения методов гидромеханизации, гидравлического трубопроводного транспорта, безнапорных потоков с использованием дамб, отстойников, каналов и других гидротехнических сооружений. Учитывая методы возведения и эксплуатации таких систем, будем называть такие системы гидротехническими (ГС) [13, 18, 19].

Таким образом, гидротехнической системой технологии переработки минерального сырья называется совокупность взаимосвязанных элементов производства, обеспечивающих процессы водоснабжения, пульпообразования, напорного и безнапорного гидротранспорта, складирования отходов обогащения, осветления оборотной воды, аккумулирования твердой и жидких фаз отходов переработки.

На сегодняшний момент математические модели таких систем неизвестны, отсутствуют методы расчета их параметров и режимов работы, учитывающие различные типы элементов систем, свойства материалов исходных и техногенных россыпей, технологические характеристики открытых горных работ и процессов переработки. Это препятствует выявлению возможных событий, составляющих угрозу нормальной эксплуатации ГС, оценке параметров систем в критических ситуациях.

Цель работы. Целью статьи является разработка математических моделей гидротехнических систем для технологий переработки титан-цирконового сырья.

Решаемая научная задача. Создание методов расчета рациональных параметров и ресурсосберегающих режимов работы ГС для технологий переработки титан-цирконового сырья, позволяющих снизить энергоемкость и водопотребление рассматриваемых технологий.

ГС взаимодействуют с технологиями добычи и переработки минерального сырья, обеспечивая первым подачу воды и отведение исходных россыпей, а вторым подачу воды и исходных россыпей с последующим отведением отходов обогащения (рисунок).

Совокупность элементов, из которых состоят ГС, удобно разделить на узлы и ветви. В узлах ГС осуществляются разделение потоков пульпы, воды и твердого вещества, процессы пульпообразования, процессы сепарации концентратов и осветление воды, а также аккумуляция твердых частиц и воды. К узлам относятся обогатительную фабрику (ОФ), хранилище отходов (ХО) и карьер. Ветви ГС обеспечивают перемещение пульпы, воды и твердого вещества между узлами. К ветвям относятся напорные и самотечные гидротранспортные установки, а также установки водоснабжения.

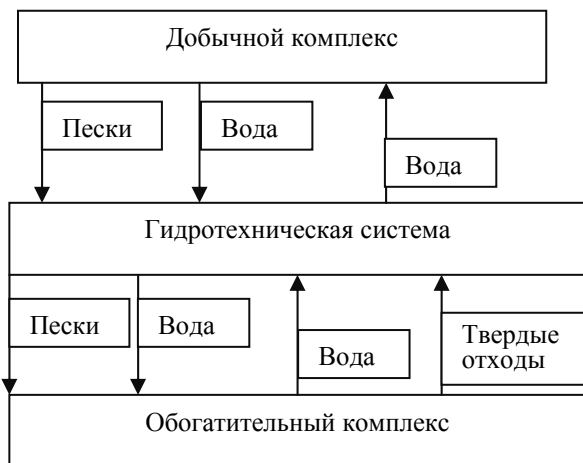


Рис. Схема взаимодействия гидротехнических систем с другими подразделениями

Анализ технологических потоков на ОФ Украины позволяет выделить три основных типа ОФ как узлов ГС [1, 3, 4, 13, 14]. ОФ первого типа являются простейшими и характеризуются отсутствием оборотного водоснабжения и средств сгущения пульпы. ОФ второго типа характеризуются возвратом из ХО части жидкой фазы отводимых отходов назад в обогатительный процесс. ОФ третьего типа отличаются применением технологий сгущения пульп перед отводом в ХО. Эксплуатирующиеся на территории Украины ХО, по структуре технологических потоков твердого и жидкого стока, можно подразделить на четыре типа [2, 5, 11 – 15, 18, 19]. ХО первого типа характеризуются только поступающими потоками жидкого и твердого стоков. Такие ХО служат исключительно для аккумуляции отходов обогащения. ХО второго типа, в отличие от ХО первого типа, предполагают осветление оборотной воды с последующим удалением ее из ХО. ХО третьего типа предполагают добычу и отведение техно-

генных россыпей, но без осветления оборотной воды. ХО четвертого типа предполагают как отведение осветленной оборотной воды, так и отведение техногенных россыпей. С точки зрения ГС, карьеры Украины можно разделить на два типа, отличающиеся наличием или отсутствием дренажа грунтовых вод в водохранилище.

Ветви ГС соединяют соответствующие узлы системы и, в зависимости от того, какой континуум по ним транспортируется, представлены пульповодами или водоводами, оборудованными центробежными насосами. При этом водоводы, в отличие от пульповодов, могут быть параллельными и разветвленными [1, 9, 10, 16, 17], тогда как для пульповодов разветвления возможны только в конце магистрали непосредственно на участке складирования отходов. Для гидротранспортных систем характерным является последовательное размещение насосных агрегатов, а для систем водоснабжения используются как параллельное, так и последовательное соединения [1, 16, 18].

Горно-геологические особенности месторождений титан-цирконового сырья, а также специфика технологий переработки таких россыпей предполагают использование в качестве исходных величин при расчете параметров технологических процессов и соответствующих ГС плановую производительность ОФ по коллективному концентрату и необходимую для переработки такого количества концентрата объемную подачу воды. В общем виде модель ОФ состоит из уравнения сохранения объемов поступающих и уходящих потоков воды, твердого материала и пульпы, а также выражений для определения потерь и источников воды в ГС [1, 16, 18]. В результате параметры потоков, входящих на ОФ и отводимых с нее, можно выразить следующим образом

$$Q_F = q_F Q_K; Q_I = \left(\frac{1}{\alpha} + q_F \right) Q_K; C_p^I = \frac{1}{1 + \alpha q_F}; \quad (1)$$

$$Q_x^w = \sigma(q_F - \varphi) Q_K; Q_{III} = \left[\frac{1 - \alpha}{\alpha} + \sigma(q_F - \varphi) \right] Q_K; \quad (2)$$

$$Q_K = \frac{G_K}{\rho_K}; r = \frac{Q_w}{Q_F}; C_p^III = \frac{1}{1 + \frac{\alpha \sigma}{1 - \alpha} (q_F - \varphi)}, \quad (3)$$

где Q_F – объемная подача воды на ОФ, необходимая для переработки планового объема коллективного концентрата; Q_I – объемная подача пульпы, поступающей на ОФ; C_p^I – объемная расходная концентрация пульпы, поступающей на ОФ; Q_x^w – расход воды, поступающей в хранилище с отходами обогащения; Q_{III} – объемная подача пульпы после сгущения; C_p^III – объемная расходная концентрация пульпы после сгущения; G_K – плановая производительность ОФ по коллективному концентрату; ρ_K – плотность коллективного концентрата; φ – влажность концен-

тратов, поступающих на сушку; α – объемная доля коллективного концентрата в исходных песках, д.ед.

Плановая производительность карьера по воде и пульпе, с учетом принятых обозначений, будет рассчитываться так

$$Q_w = \frac{1+q_z}{\alpha A} Q_k; \quad Q_M = \left(1 + \frac{1+q_z}{A}\right) \frac{Q_k}{\alpha}; \quad (4)$$

$$C_p^M = \frac{1}{1 + \frac{1+q_z}{A}},$$

где q_z – соотношение расходов воды, подаваемых в зумпф гидротранспортной установки и на гидромониторы [1]; A – удельный расход воды при размыве исходных песков; Q_w – объемный расход воды, забираемой из водохранилища; Q_M – объемный расход пульпы, подаваемой на ОФ; C_p^M – объемная расходная концентрация пульпы, транспортируемой из карьера.

Модель ХО содержит систему уравнений, описывающих высоту зеркала воды и уровня дна ХО в зависимости от объемов россыпей и воды, поданных в него и отобранных из него за рассматриваемый период эксплуатации, с учетом геометрических особенностей чаши хранилища [13, 19]. С учетом формул (1) – (4), формулы для расчета параметров ХО и водохранилища могут быть записаны так

$$\int_0^{H_v} F_v(z) dz = V_0 + \int_0^T Q_D(t) dt - \int_0^T (q_F - q_0) Q_k(t) dt; \quad (5)$$

$$\int_0^{H_w} F_w(z) dz = \int_0^T \left[\sigma(q_F - \varphi) - \frac{1-m}{m} \frac{1-\alpha}{\alpha} - q_0 \right] Q_k(t) dt; \quad (6)$$

$$\int_0^{H_s} F_s(z) dz = \frac{1}{m} \int_0^T \frac{1-\alpha}{\alpha} Q_k(t) dt; \quad q_0 = \frac{Q_0^w}{Q_k}; \quad (7)$$

где T – текущий период эксплуатации; Q_0^w – объем отбираемой из ХО осветленной воды; t – время; m – пористость отходов обогащения после укладки в ХО; H_s – текущая высота дна ХО, границы раздела между твердой и жидкой фазами; $F_s(z)$ – функция, описывающая зависимость текущей площади поперечного сечения ХО, занятого твердой фракцией, от высоты зеркала воды; H_w – текущая высота зеркала воды; $F_w(z)$ – функция, описывающая зависимость текущей площади поперечного сечения ХО, занятого жидкой фракцией, от высоты зеркала воды; z – высота зеркала воды; H_v – текущая высота зеркала воды в водохранилище; $F_v(z)$ – функция, описывающая зависимость текущей площади поперечного сечения водохранилища от высоты зеркала воды; V_0 – начальный объем воды в водохранилище; Q_D – объемный расход грунтовых вод, отводимых в водохранилище.

Анализируя модель ГС, полученную с учетом особенностей месторождений и специфики технологий переработки титан-цирконового сырья, можно

выделить следующие моменты, определяющие согласованность режимов работы и рациональность параметров системы. Во-первых, это соотношение расхода воды, используемой для подачи исходных песков на ОФ, и планового расхода воды, необходимого для получения требуемого объема коллективного концентрата. Во-вторых, это соотношение расхода воды, полученной после сгущения пульпы, и разницы между плановым расходом воды, необходимым для номинальной работы ОФ, и расходом воды, поступающим с исходными песками.

В случае, когда параметры гидротранспорта исходных песков и технологии обогащения согласованы, ресурсосбережение достигается за счет отказа от дополнительного расхода воды из водохранилища на ОФ, а рациональные значения параметров определяют по формулам (1) – (7) с учетом выражения

$$q_F = \frac{1+q_z}{\alpha A}. \quad (8)$$

В случае, когда вода, полученная после сгущения пульпы перед отправкой в ХО, подается обратно на ОФ, с учетом $Q_F - Q_w = Q_0$, кроме формул (1)–(8) используют также следующие зависимости

$$Q_0 = \left(q_F - \frac{1+q_z}{\alpha A}\right) Q_k; \quad Q_X^w = \left(\frac{1+q_z}{\alpha A} - \varphi\right) Q_k; \quad (9)$$

$$Q_{III} = \left[\frac{1-\alpha}{\alpha} + \frac{1+q_z}{\alpha A} - \varphi\right] Q_k; \quad (10)$$

$$\sigma = \frac{1+q_z - \varphi}{q_F - \varphi}; \quad C_p^{III} = \frac{1}{1 + \frac{\alpha}{1-\alpha} \left(\frac{1+q_z}{\alpha A} - \varphi\right)}. \quad (11)$$

При этом с учетом формул (9)–(11), уравнения (5)–(7) принимают вид

$$\int_0^{H_v} F_v(z) dz = V_0 + \int_0^T Q_D(t) dt - \int_0^T \left(\frac{1+q_z}{\alpha A} - q_0\right) Q_k(t) dt;$$

$$\int_0^{H_s} F_s(z) dz = \frac{1}{m} \int_0^T \frac{1-\alpha}{\alpha} Q_k(t) dt;$$

$$\int_0^{H_w} F_w(z) dz = \int_0^T \left[\frac{1+q_z}{\alpha A} - q_0 - \varphi - \frac{1-m}{m} \frac{1-\alpha}{\alpha}\right] Q_k(t) dt.$$

Нормальная эксплуатация ХО и водохранилища возможна при наличии над уровнем дна слоя воды некоторой толщины, что выражается в соблюдении следующих неравенств

$$\Phi_*(z) \leq \int_0^{H_w} F_w(z) dz - \int_0^{H_s} F_s(z) dz \leq \Phi^*(z); \quad (12)$$

$$W_*(z) \leq V_0 + \int_0^T Q_D(t) dt - \int_0^{H_v} F_v(z) dz \leq W^*(z), \quad (13)$$

где $\Phi_*(z)$ – величина, характеризующая минимально допустимую для данной отметки зеркала воды разницу

объемов твердых частиц и воды в ХО; $\Phi^*(z)$ – величина, характеризующая максимально допустимую для данной отметки зеркала воды разницу объемов твердых частиц и воды в ХО; $W_*(z)$ – величина, характеризующая минимально допустимую для данной отметки зеркала воды глубину водохранилища; $W^*(z)$ – величина, характеризующая максимально допустимую для данной отметки зеркала воды глубину водохранилища.

Легко видеть, что условия (12) и (13) могут быть переписаны в виде ограничений на величину q_0

$$\Phi_*(z) \leq \int_0^T G Q_k(t) dt \leq \Phi^*(z); \quad (14)$$

$$W_*(z) \leq \int_0^T \left(\frac{1+q_z}{\alpha A} - q_0 \right) Q_k(t) dt \leq W^*(z); \quad (15)$$

$$G = \frac{1+q_z}{\alpha A} - q_0 - \varphi - \frac{2-m}{m} \frac{1-\alpha}{\alpha}.$$

Выбор значения величины q_0 , удовлетворяющего условиям (14) и (15) при заданных величинах остальных параметров, позволяет обеспечить работоспособность ГС технологий переработки титан-цирконового сырья в ресурсосберегающих режимах работы.

Выводы, отражающие решение научной задачи.

Из материалов, приведенных в статье, можно сделать следующие выводы.

Существующие технологии добычи, транспортировки и обогащения минерального сырья содержат структурные элементы, связанные между собой системами трубопроводов или безнапорных потоков, которые образуют внутри технологии переработки минерального сырья единую ГС, обеспечивающую процессы водоснабжения, пульпообразования, напорного и безнапорного гидротранспорта, складирования отходов обогащения, осветления оборотной воды, аккумуляирования твердой и жидкой фаз отходов переработки.

ГС состоят из совокупности элементов двух видов: элементы первого вида обеспечивают разделение потоков пульпы, воды и твердого вещества, ППО, процессы сепарации концентратов и осветление воды, а также аккумуляирование твердых частиц и воды; элементы второго вида обеспечивают перемещение пульпы, воды и твердого вещества. Каждый элемент первого вида описывается сепарационными характеристиками, а также уравнениями сохранения объемов поступающих и уходящих потоков воды, твердого материала и пульпы. Каждый элемент второго вида описывается рабочей точкой, определяемой пересечением РНХ составляющих его объектов.

Разработан метод расчета параметров и режимов работы ГС технологий обогащения минерального сырья, учитывающий различные типы элементов систем, свойства материалов исходных и техногенных россыпей, технологические характеристики открытых горных работ и процессов переработки.

Определены возможные события, представляющие угрозу для нормальной эксплуатации ГС, что позволило оценить параметры систем в критических

ситуациях, спрогнозировать их и обосновать параметры и режимы работы систем, предотвращающие аварии и потери надежности.

Предложен метод расчета рациональных параметров и ресурсосберегающих режимов работы ГС для технологий переработки титан-цирконового сырья, позволяющие снизить энергоемкость и водопотребление этих технологий.

Список литературы

1. Обоснование параметров и режимов работы систем гидротранспорта горных предприятий / Ю.Д. Баранов, Б.А. Блюсс, Е.В. Семенов, В.Д. Шурыгин. – Днепропетровск: „Новая идеология“, 2006. – 416 с.
2. Блюсс Б.А. Совершенствование технологий предобогащения ильменитовых руд / Б.А. Блюсс, Н.А. Головач. – Днепропетровск: Полиграфист, 1999. – 126 с.
3. Блюсс Б.А. Научные основы моделирования процессов в технологиях обогащения титан-цирконовых россыпей / Б.А. Блюсс, А.М. Сокил, Е.В. Семенов // Обогащение полезных ископаемых: Науч.-техн. сб. – Днепропетровск. – 2003. – Вып. №18(59). – С. 79 – 92.
4. Блюсс Б.А. Методика определения параметров систем карьерного трубопроводного транспорта с учетом пульпообразования / Б.А. Блюсс, Е.В. Семенов, М.Н. Лившиц // Физико-технические проблемы разработки месторождений полезных ископаемых. – 2009. – №1. – С. 73 – 82.
5. Булат А.Ф. Согласование параметров насоса и электродвигателя насосного агрегата / А.Ф. Булат, А.М. Сокил, Е.В. Семенов // Горн. электромеханика и автоматика: Науч.-техн. сб. – 2002. – Вып. 69. – С. 117–122.
6. Проблемы разработки россыпных месторождений / И.Л. Гуменик, А.М. Сокил, Е.В. Семенов, В.Д. Шурыгин. – Днепропетровск: Січ, 2001. – 224 с.
7. Джваршеишвили А.Г. Системы трубопроводного транспорта горно-обогажительных предприятий / Джваршеишвили А.Г. – М.: Недра, 1986. – 384 с.
8. Дмитриев Г.П. Напорные гидротранспортные системы / Г.П. Дмитриев, Л.И. Махарадзе, Т.Ш. Гочиташвили. – М.: Недра, 1991. – 304 с.
9. Животовский Л.С. Техническая механика гидросмесей и грунтовые насосы / Л.С. Животовский, Л.А. Смойловская. – М.: Машиностроение, 1986. – 224 с.
10. Карелин В.Я. Кавитационные явления в центробежных и осевых насосах / Карелин В.Я. – М.: Машиностроение, 1975. – 326 с.
11. Литвяк В.Г. Опыт проектирования Укрспромезом систем производственного водоснабжения предприятий черной металлургии / В.Г. Литвяк, А.И. Шербина, М.М. Пинизилле // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2005. – №1. – С. 127–130.
12. Трубопроводный гидротранспорт твердых сыпучих материалов / Л.И. Махарадзе, Т.Ш. Гочиташвили, С.И. Криль, Л.А. Смойловская. – Тбилиси: Мецниереба, 2006. – 350 с.
13. Нурок Г.А. Процессы и технологии гидромеханизации открытых горных работ / Нурок Г.А. – М.: Недра, 1985. – 583 с.
14. Покровская В.Н. Трубопроводный транспорт в горной промышленности / Покровская В.Н. – М.: Недра, 1985. – 191 с.

15. Семененко Е.В. Расчет параметров систем оборотного водоснабжения технологий обогащения минерального сырья / Семененко Е.В. // Горн. электромеханика и автоматика: Науч.-техн. сб. – Днепропетровск. – 2005. №74. – С. 79–85.
16. Силин Н.А. Режимы работы крупных землесосных снарядов и трубопроводов / Н.А. Силин, С.Г. Коберник. – К.: Изд-во АН УССР, 1962. – 215 с.
17. Смолдырёв А.Е. Гидро- и пневмотранспорт в металлургии / Смолдырёв А.Е. – М.: Металлургия, 1985. – 383 с.
18. Юфин А.П. Гидромеханизация: учебн. [для студ. гидротехн. спец. вузов] / Юфин А.П. – М.: Госстройиздат, 1966. – 496 с.
19. Рабочие параметры грунто-заборочных устройств плавучих землесосных снарядов и их конструктивные особенности / И.М. Ялтанец, Н.И. Леванов, И.Т. Мельников, В.М. Дятлов. – М.: МГТУ, 2005. – 236 с.

Розроблено математичні моделі гідротехнічних систем та метод розрахунку параметрів і режимів роботи гідротехнічних систем технологій збагачення мінеральної сировини, які враховують особливості технологій видобутку та переробки, а також властивості матеріалів первинних та техногенних розсіпів.

УДК 622.12:502

В.П. Надутый¹, д-р техн. наук, проф.,
Т.Ю. Гринюк², канд. техн. наук, доц.

Запропоновано метод розрахунку раціональних параметрів і ресурсозберігаючих режимів роботи гідротехнічних систем для технологій переробки титанцирконової сировини, який дозволяє знизити енергоємність та водоспоживання цих технологій.

Ключові слова: пульпа, оборотне водопостачання, технології видобутку та збагачення

The mathematical model of hydroengineering systems and the method of calculation of parameters and operating regimes of hydroengineering systems of raw material concentration technologies are elaborated. The model and the method take into account peculiar properties of mining and concentration technologies as well as properties of materials from initial and anthropogenic placers. The method of calculation of rational parameters and resource-saving operating regimes of hydroengineering systems for technologies of titanite-zirconium raw material processing that allows reduce energy output and water consumption is offered.

Keywords: pulp, recycling water supply, mining and concentration technologies

*Рекомендовано до публікації докт. техн. наук
В.П. Надутим. Дата надходження рукопису 11.03.11*

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ПОРОДЫ БАЗАЛЬТОВОГО КАРЬЕРА

V.P. Naduty, Dr. Sc. (Tech.), Professor,
T.Yu. Griniuk Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor

1 – Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics of National Academy of Sciences of Ukraine, Dnipropetrovsk, Ukraine, e-mail: nanu@igtm.dp.ua
2 – National University of Water-Economy and Nature Management, Rovno, Ukraine, e-mail: @nuwm.RV.ua.

RESULTS OF RESEARCH OF INFLUENCE OF ELECTROSTATIC FIELD ON ROCKS OF BASALT QUARRY

Представлены результаты лабораторных исследований по электрической сепарации основных пород базальтового карьера – лавобрекчии, базальта и туфа – при извлечении из них самородной меди. Установлено, что метод электростатической сепарации является эффективным для извлечения самородной меди из базальтового сырья в пределах его крупности 1,0–0,2 мм. Определена наиболее эффективная крупность для сепарирования, что важно для разработки технологии переработки сырья.

Ключевые слова: медь, сепаратор, тонкая классификация, напряженность поля

Особенностью месторождения базальта, разрабатываемого в Рафаловском карьере Ровенской области, является наличие включений самородной меди во всех основных составляющих базальтового массива – лавобрекчии, базальта и туфа. Кроме того, эти составляющие содержат высокий процент титаномагнетита,

обладающего магнитновосприимчивыми свойствами. В процессе разработки технологии комплексной переработки базальтового сырья после рудо-подготовки, включающей дробление, измельчение, грохочение, титаномагнетит выделялся из общей массы на магнитном сепараторе. Самородная медь как магнитноневосприимчивая отошла в процессе сепарации в силикатную часть перерабатываемой сыпучей массы.