

ГРАВИТАЦИОННОЕ ОБЕЗВОЖИВАНИЕ ОТХОДОВ ФЛОТАЦИИ КОКСУЮЩИХСЯ УГЛЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ФЛОКУЛЯНТОВ

А.А. Лавриненко¹, Г.Ю. Гольберг¹, О.Г. Лусинян¹

¹ Институт проблем комплексного освоения недр РАН, Москва, Россия, e-mail: gr_yu_g@mail.ru

Аннотация: Выполнены экспериментальные исследования по определению результативности обезвоживания отходов флотации углей под действием силы тяжести с применением двух комбинаций анионоактивного (А) и катионоактивного (К) флокулянтов: высокомолекулярного среднеанионного А1 и низкомолекулярного сильнокатионного К1; высокомолекулярного сильноанионного А2 и средномолекулярного сильнокатионного К2. Цель работы заключалась в определении возможности снижения расхода флокулянтов на операции обезвоживания отходов флотации углей в условиях действующей ОФ без ухудшения показателей работы ленточных фильтр-прессов. Данные по кинетике обезвоживания позволили рассчитать удельное сопротивление осадка α_0 . Было установлено, что сочетание (А2+К2) обеспечивает принятое в качестве рационального значение α_0 , равное $6,0 \cdot 10^{10} \text{ м}^{-2}$, при следующих значениях расходов флокулянтов: 475 г/т А1+475 г/т К1 и 375 г/т А2+375 г/т К2, то есть на 25% меньше. На основании полученных экспериментальных данных выполнен расчет режима работы ленточного фильтр-пресса. Установлено, что при содержании твердой фазы в суспензии 300–400 кг/м³ и применении флокулянтов с указанными значениями расходов требуемая производительность фильтра по твердой фазе 15 т/ч достигается при скорости движения лент 0,07–0,16 м/с, что соответствует технической характеристике фильтра.

Ключевые слова: ленточный фильтр-пресс; гравитационное обезвоживание; отходы флотации углей; флокулянты; удельное объемное сопротивление осадка; скорость движения лент; производительность по твердой фазе.

Для цитирования: Лавриненко А. А., Гольберг Г. Ю., Лусинян О. Г. Гравитационное обезвоживание отходов флотации коксующихся углей с применением флокулянтов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 11. – С. 5–13. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-11-0-5-13.

Gravity dewatering of metallurgical coal flotation tailings using flocculants

A.A. Lavrinenko¹, G.Yu. Golberg¹, O.G. Lusinyan¹

¹ Institute of Problems of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, e-mail: gr_yu_g@mail.ru

Abstract: Experimental research was undertaken to determine effectiveness of gravity dewatering of coal flotation tailings using two combinations of anion-active (A) and cation-active (C) flocculants: high molecular mid-activity anion flocculant A1 + low molecular high-activity cation flocculant C1; high molecular high-activity anion flocculant A2 + average molecular high-activity cation flocculant C2. The aim of the research was to find possibility to reduce

consumption of flocculants in dewatering of coal flotation tailings at an operating preparation plant without performance degradation of belt filter presses. The data on dewatering kinetics allow calculating resistivity α_0 of residue. It is found that A2+C2 combination ensures the stated rational α_0 of $6.0 \cdot 10^{10} \text{ m}^{-2}$ at the flocculant consumptions as follows: A1 475 g/t + C1 475 g/t and A2 375 g/t + C2 375 g/t, i.e. less than the current consumption by 25%. Using the experimental data, the operating mode of the belt filter press is calculated. At the solids content of 300–400 kg/m³ in suspension and using flocculants at the specified consumptions, the required solids production of 15 t/h of the filter is reached at the belt speed of 0.07–0.16 m/s, which complies with the filter specifications.

Key words: belt filter press, gravity dewatering, coal flotation tailings, flocculants, volume residue resistivity, belt speed, solids production.

For citation: Lavrinenko A. A., Golberg G. Yu., Lusinyan O. G. Gravity dewatering of metallurgical coal flotation tailings using flocculants. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(11):5-13. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-11-0-5-13.

Введение

Обеспечение экологической безопасности фабрик по обогащению углей (ОФ) является актуальной задачей, решение которой достигается, как правило, путем совершенствования технологических процессов. Для исключения жидких выбросов в окружающую среду на ряде ОФ, в особенности перерабатывающих коксующиеся угли, применяют замкнутые водно-шламовые схемы, предусматривающие глубокое обезвоживание тонкодисперсных шламов и продуктов обогащения с направлением в линию оборотного водоснабжения ос-

ветленной воды [1]. Особенно сложной задачей представляется разделение суспензий отходов флотации углей, что обусловлено значительным содержанием глинистых частиц крупностью менее 10 мкм [2–6]. В последние годы для ОФ с замкнутой водно-шламовой схемой широкое распространение получила технология обезвоживания тонкодисперсных шламов и продуктов флотации на ленточных фильтр-прессах [7–11]. Принцип их работы заключается в удалении свободной влаги из суспензии под действием силы тяжести (другими словами, гравитационное

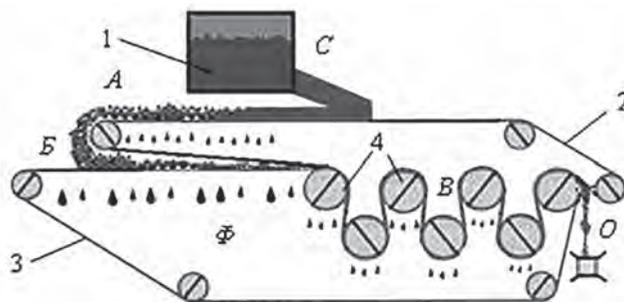


Рис. 1. Принципиальная схема ленточного фильтр-пресса: 1 – загрузочное устройство; 2, 3 – фильтрующие ленты; 4 – отжимные валки; А – зона гравитационного обезвоживания; Б – клиновья зона; В – зона отжима; С – исходная суспензия с флокулянтами; О – обезвоженный осадок; Ф – фильтрат
 Fig. 1. Block diagram of belt filter press: 1 – feeding assembly; 2, 3 – belt filters; 4 – squeeze rolls; А – gravity dewatering zone; В – wedge zone; С – pressing zone; S – initial suspension with flocculants; D – dewatered residue; F – filter cake

обезвоживание) с получением осадка, который затем подвергается механическому отжиму (рис. 1).

Для обеспечения устойчивой работы этих фильтров необходимо применение флокулянтов. В практике углеобогащения наиболее распространены технологии, включающие последовательную подачу анионоактивного и катионоактивного флокулянтов [8], причем их суммарный расход при обезвоживании отходов флотации углей составляет 300–700 г/т, а иногда и более [5, 9]. Это, в свою очередь, обуславливает необходимость совершенствования реагентного режима данного процесса. Основная задача заключается в том, чтобы выбрать наиболее эффективные марки флокулянтов, обеспечивающие максимальную возможную производительность фильтра по обезвоженной твердой фазе при минимальном возможном расходе, или же уменьшение расхода флокулянтов без снижения производительности фильтра. Эту задачу решают экспериментально, выбирая сочетание анионоактивного и катионоактивного флокулянтов. Наибольшее распространение получил метод капиллярного всасывания [12–13]. Он основан на определении скорости истечения свободной влаги по величине времени, в течение которого эта влага проходит определенное расстояние в пористой

среде. В то же время указанный метод не позволяет получить данные для расчета производительности фильтра по твердой фазе (Q). Эта величина зависит от следующих свойств суспензии:

- фильтрационных характеристик, прежде всего, от удельного объемного сопротивления осадка (α_0), которое, в свою очередь, зависит от расходов флокулянтов;
- содержания твердой фазы в суспензии (C);
- плотности твердой фазы суспензии.

По нашему мнению, наиболее существенное значение для определения рационального реагентного режима флокуляции и расчета производительности ленточных фильтр-прессов по твердой фазе имеет параметр α_0 , значение которого, согласно литературным данным, обратно пропорционально квадрату диаметра пор осадка. На основании выполненных авторами экспериментальных исследований изменение структуры осадка и значения α_0 в зависимости от реагентного режима представляется следующим образом (рис. 2).

Осадок индивидуальных частиц (см. рис. 2, а) имеет диаметр пор, сопоставимый с диаметром частиц (несколько микрон); значение α_0 находится в пределах от $5 \cdot 10^{12} \text{ м}^{-2}$ (угольный флотационный концентрат) до 10^{16} м^{-2} (отходы

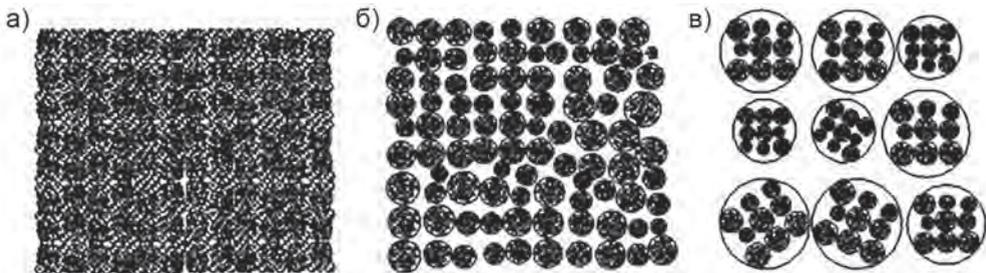


Рис. 2. Структура осадков в зависимости от реагентного режима флокуляции: без флокулянтов (а); с применением одного флокулянта (б); с применением двух флокулянтов различной природы (в)

Fig. 2. Structure of residue subject to reagent mode of flocculation: without flocculants (a); with single flocculant (b); with two flocculants of different nature (c)

флотации углей). При добавлении к суспензии одного флокулянта образуются агрегаты 1-го порядка. Осадок таких агрегатов (рис. 2, б) имеет значение α_0 примерно в 3–6 раз меньше по сравнению с осадками индивидуальных частиц за счет увеличения диаметра пор до нескольких десятков микрон, а также, возможно, уменьшения доли тупиковых пор. Последовательное применение двух флокулянтов различной природы снижает значение α_0 до $(2–10) \cdot 10^{10} \text{ м}^{-2}$, так как образуются агрегаты второго порядка (рис. 2, в), и характерные значения диаметра пор достигают нескольких сотен микрон; это особенно важно для гравитационного обезвоживания суспензий в зоне дренирования ленточного фильтр-пресса, так как движущая сила этого процесса весьма невелика — порядка $(1–4) \cdot 10^2 \text{ Па}$ против $(4–8) \cdot 10^4 \text{ Па}$ для обезвоживания фильтрованием под вакуумом и $(3–10) \cdot 10^5 \text{ Па}$ — для фильтрования под давлением. Поэтому для рассматриваемого процесса необходимо выбрать реагентный режим таким образом, чтобы обеспечить минимальное возможное значение α_0 .

В настоящей работе применен подход, основанный на изложенном в работах [14–15] и заключающийся в определении удельного объемного сопротивления осадка (α_0), дающий возможность рассчитать ожидаемые значения Q в зависимости от скорости движения лент фильтра (v). Основное расчетное уравнение:

$$Q = A \left(1 - \frac{2a}{3} \sqrt{\frac{L}{v}} \right) \quad (1)$$

$$A = 3,6\rho_o \frac{100 - W}{100} B \frac{2L\rho_c g(u + 1)}{\mu\alpha_0} \quad (2)$$

где L , B — соответственно длина и ширина зоны дренирования ленточного фильтр-пресса, м; a — эксперименталь-

ная постоянная; ρ_o , ρ_c — плотность осадка и исходной суспензии соответственно, кг/м^3 ; g — ускорение свободного падения ($9,8 \text{ м/с}^2$); u — отношение объема осадка к объему фильтрата, $\text{м}^3/\text{м}^3$; μ — вязкость воды (при нормальных условиях — $10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$).

Исследование проведено с целью определения возможности уменьшения расхода флокулянтов на операции обезвоживания отходов флотации углей в условиях действующей ОФ без снижения производительности ленточных фильтр-прессов по твердой фазе.

Материалы, оборудование и методы

В настоящей работе исследования проводились с отходами флотации коксующихся углей, отобранными непосредственно на фабрике. Существующая технология предусматривает сгущение отходов в радиальном сгустителе до концентрации 300–500 кг/м^3 и последующее обезвоживание на ленточных фильтр-прессах с применением следующих флокулянтов:

- высокомолекулярного со средней анионной активностью А1;
- низкомолекулярного с высокой катионной активностью К1.

Расход каждого из названных флокулянтов на ОФ варьируют таким образом, чтобы обеспечить стабильную производительность ленточного фильтр-пресса порядка 15 т/ч. Имеющиеся сведения о режиме работы фильтров на ОФ дают основание полагать, что указанное значение производительности может быть достигнуто применением комбинации флокулянтов других марок при меньших значениях расходов.

Исследования были выполнены на продукте с содержанием твердой фазы 15 кг/м^3 . Гранулометрический состав твердой фазы был определен методом лазерной дифракции. Исследованный

продукт является весьма тонкодисперсным: выход частиц крупностью менее 1 мкм составил около 10%, менее 5 мкм — примерно 50%. Зольность твердой фазы составила 72,5%.

Были выполнены предварительные опыты с комбинациями различных флокулянтов на основе полиакриламида: анионоактивных с молекулярной массой от $8 \cdot 10^6$ до $20 \cdot 10^6$ кг/кмоль и долей отрицательно заряженных групп от 20 до 80%; катионоактивных с молекулярной массой от $0,5 \cdot 10^6$ до $10 \cdot 10^6$ кг/кмоль, долей положительно заряженных групп от 20 до 100%. По результатам этих опытов была выбрана комбинация, включающая высокомолекулярный сильный анионоактивный А2 и средномолекулярный сильный катионоактивный К2.

Программа последующих экспериментальных исследований предусматривала следующие этапы:

- определение зависимости α_0 от суммарного расхода флокулянтов (d_{Σ}) при постоянном соотношении расходов анионоактивного и катионоактивного (А:К), равном 50:50;
- определение зависимости α_0 от А:К при постоянном значении d_{Σ} ;

- расчет ожидаемого значения производительности ленточного фильтр-пресса в зависимости от скорости движения лент в диапазоне, определяемом его технической характеристикой.

Для проведения опытов по обезвоживанию дренажом исходную суспензию сгущали до концентрации 225 кг/м^3 . Затем к пробе суспензии объемом 50 см^3 добавляли последовательно растворы анионоактивного и катионоактивного флокулянтов с концентрацией 0,35%, причем перемешивание с каждым из них осуществляли в течение 30 с. Суспензию, обработанную флокулянтами, заливали в воронку, экипированную фильтрующей сеткой, аналогичной применяемой на промышленном фильтре (площадь поверхности фильтрования — 20 см^2) и определяли кинетику истечения фильтрата. На основании полученных данных рассчитывали удельное объемное сопротивление осадка α_0 по методике, изложенной в работе [14].

Результаты и обсуждение

Результаты опытов по определению значения α_0 в зависимости от d_{Σ} при А:К 50:50 и от доли анионоактивного

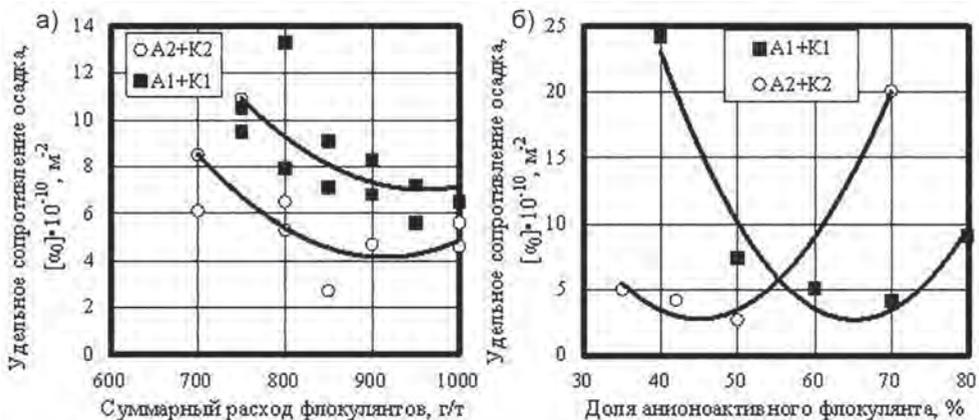


Рис. 3. Зависимость удельного объемного сопротивления осадка отходов флотации углей от реagentного режима: от суммарного расхода флокулянтов (а); от соотношения расходов флокулянтов (б)

Fig. 3. Volume resistivity of residue of coal flotation tailings as function of reagent mode: subject to total consumption of flocculants (a); subject to consumption ratio of flocculants (b)

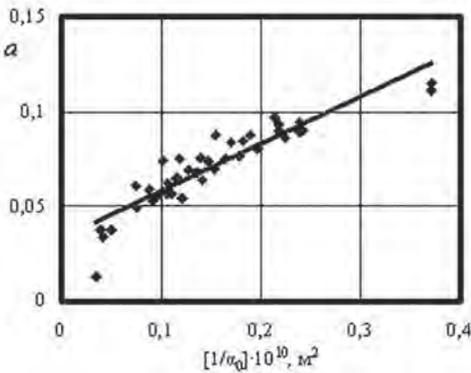


Рис. 4. Корреляционная зависимость между экспериментальным коэффициентом a и удельным объемным сопротивлением осадка α_0
 Fig. 4. Correlation dependence of experimental coefficient a and volume residue resistivity α_0

при постоянном d_Σ представлены на рис. 3, а и 3, б соответственно.

Как видно на рис. 3, а, зависимость α_0 от d_Σ при прочих равных условиях имеет минимум. Для комбинации (A1 + K1) он достигался для $d_\Sigma = 950$ г/т; при этом $\alpha_0 \approx 6,4 \cdot 10^{10}$ м⁻². Предлагаемая комбинация (A2 + K2) обеспечила минимальное значение α_0 , равное $2,7 \cdot 10^{10}$ м⁻², при d_Σ 850 г/т. Последующие опыты по определению влияния соотношения расходов флокулянтов на величину α_0

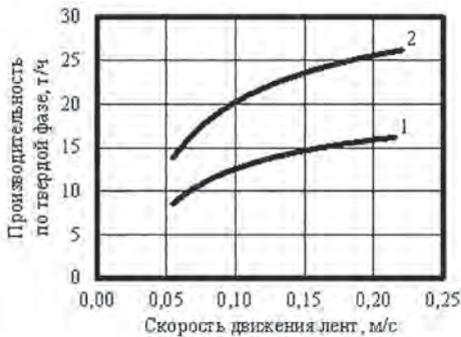


Рис. 5. Зависимость ожидаемой производительности ленточного фильтр-пресса по твердой фазе от скорости движения лент при обезвоживании отходов флотации: 1 – $C = 300$ кг/м³; 2 – $C = 400$ кг/м³

Fig. 5. Dependence of anticipated solids production of belt filter press in dewatering of flotation tailings on belt speed: 1 – $C = 300$ кг/м³; 2 – $C = 400$ кг/м³

были выполнены при указанных значениях d_Σ . На рис. 3, б видно, что при постоянных значениях d_Σ для комбинации (A1 + K1) минимальное значение α_0 , равное $4,2 \cdot 10^{10}$ м⁻², достигалось при А:К = 70:30; а для (A2 + K2) – $2,7 \cdot 10^{10}$ м⁻² при А:К = 50:50. В то же время полученные минимальные значения α_0 представляются избыточно низкими, и, кроме того, связаны с весьма высокими значениями расходов флокулянтов. На основании анализа данных по эксплуатации промышленных ленточных фильтр-прессов было принято в качестве рационального $\alpha_0 = 6,0 \cdot 10^{10}$ м⁻². Согласно рис. 3, а, б, оно достигается при следующих значениях расходов флокулянтов:

475 г/т А1 + 475 г/т К1;
 375 г/т А2 + 375 г/т К2.

То есть в предлагаемой комбинации расход каждого из флокулянтов примерно на 25% ниже по сравнению с базовой.

Значения экспериментальной постоянной a определяли как тангенс угла наклона прямой, построенной в координатах $(1 - P/P_0) - \sqrt{t}$ (P и P_0 – соответственно текущее и начальное значения гидростатического давления; t – время). По данным опытов, значение коэффициента корреляции для указанной зависимости было не менее 0,8. Значения a и α_0 взаимосвязаны, причем коэффициент корреляции для обратной пропорциональной зависимости a от $1/\alpha_0$ составлял не менее 0,9 (рис. 4).

Значения a , W , ρ_0 , ρ_c по данным опытов составили соответственно 0,11; 60%; 1435 кг/м³ и 1050 кг/м³. Значения конструктивных параметров для ленточного фильтр-пресса: $L = 4,2$ м, $B = 2,0$ м; скорость движения лент v от 0,055 до 0,220 м/с.

Расчеты производительности фильтра Q в зависимости от скорости движения лент v были выполнены для со-

держания твердой фазы в суспензии (С) 300 и 400 кг/м³. Кривые зависимости Q от v представлены на рис. 5.

На рис. 5 видно, что при содержании твердой фазы в суспензии 300 кг/м³ требуемая производительность 15 т/ч достигается при скорости движения лент 0,16 м/с, а при 400 кг/м³ – 0,07 м/с.

По данным предварительных экономических расчетов, в результате замены комбинации флокулянтов (А1 + К1) на (А2 + К2) возможно получение экономического эффекта порядка 6–8 млн руб. в год.

Заключение

Таким образом, выполненные экспериментальные исследования показали, что предлагаемая комбинация флокулянтов А2 и К2 при прочих равных условиях обеспечивает требуемую производительность ленточных фильтр-прессов на операции обезвоживания отходов флотации углей, равную 15 т/ч, при расходе на 25% меньшем по сравнению с базовой комбинацией А1 и К1, что дает возможность получения экономического эффекта за счет снижения затрат на флокулянты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антипенко Л. А., Кравченко А. Е. Современное состояние и перспективы развития водно-шламовых систем углеобогатительных фабрик // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. – № 4. – С. 156–165.
2. Еремеев Д. Н. Осветление шламовых вод и сгущение отходов флотации угольных шламов с применением полимерных флокулянтов // Вода: химия и экология. – 2012. – № 2. – С. 63–66.
3. Свечникова Н. Ю., Юдина С. В., Мамедалина Н. И. Анализ отходов флотационного обогащения угля // Теория и технология металлургического производства. – 2015. – № 1 (16). – С. 19–21.
4. Yagüe S., Sánchez I., de la Villa Mencía R. V., García R., Zapardiel A., Frías M. Coal-mining tailings as a pozzolanic material in cements industry // Minerals. 2018. Vol. 8. No 2. DOI: 10.3390/min8020046.
5. Xiaomin Ma, Yuping Fan, Xianshu Dong, Ruxia Chen, Hongliang Li, Dong Sun, Suling Yao Impact of clay minerals on the dewatering of coal slurry: an experimental and molecular-simulation study // Minerals. 2018. Vol. 8. No 9. DOI: 10.3390/min8090400.
6. Hansdah P., Kumar S., Mandre N.R. Performance optimization of dewatering of coal fine tailings using Box-Behnken design // Energy Sources. Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects. 2017. Vol. 40. No 1. Pp. 1–6. DOI: 10.1080/15567036.2017.1405112.
7. Klima M. S., Arnold B. J., Bethell P. J. Challenges in fine coal processing, dewatering, and disposal. Englewood, Colorado, Society of Mining, Metallurgy, and Exploration. 2012, 404 p.
8. Osborne D. G., Walton K. J. Facing the challenges of ultrafine coal recovery / XVIII International Coal Preparation Congress: 28 June–01 July 2016 Saint Petersburg, Russia. Conference proceedings. Springer, 2016. Pp. 439–444.
9. Zasyadko A. V., Kostromitin A. V., Osadchiy S. A., Lobanov F. I., Panfilov P. F., Golberg G. Yu. Dewatering of flotation concentrates and middlings on belt press filters // Proceedings of XV International Coal Preparation Congress and Exhibition. Beijing: China University of Mining and Technology Press. 2006. Vol. 2. Pp. 545–548.
10. Сингх Б., Эрдман В. Обезвоживание флотохвостов на прессе с ситовой лентой // Глюкауф. – 1978. – Т. 114. – № 7. – С. 25–30.
11. Ляйнингер Д., Вильчински П., Келинг Р., Эрдман В., Шидер Т. Обработка и использование флотохвостов в ФРГ // Глюкауф. – 1979. – Т. 115. – № 10. – С. 17–23.
12. Ксенофонтов Б. С., Сазонов Д. В. Усовершенствование способа экспресс-контроля водоотдающих свойств осадков сточных вод // Сантехника. – 2014. – № 2. – С. 44–46.

13. Hou-Feng Wang, Hao Hu, Hua-Jie Wang, Raymond Jianxiong Zeng Impact of dosing order of the coagulant and flocculant on sludge dewatering performance during the conditioning process // *Science of Total Environment*. 2018. Vol. 643. Pp. 1065 – 1073.

14. Засядько А. В., Панфилов Ф. А., Гольберг Г. Ю. Способ определения эффективности флокуляционного кондиционирования суспензий // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2003. – № 3. – С. 143 – 144.

15. Лавриненко А. А., Гольберг Г. Ю., Кунилова И. В. Закономерности обезвоживания суспензий дренированием // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. – № 11. – С. 28 – 33. **МИАБ**

REFERENCES

1. Antipenko L. A., Kravchenko A. E. Water-slurry circuits at coal preparation plants: current state and development prospects. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2017, no 4, pp. 156 – 165. [In Russ].

2. Eremeyev D. N. Slime waters clarification and flotation thickening of waste coal slurries by polymeric flocculants. *Voda: khimiya i ekologiya*. 2012, no 2, pp. 63 – 66. [In Russ].

3. Svechnikova N. Yu., Yudina S. V., Mamedalina N. I. Analysis of flotation waste coal. *Teoriya i tekhnologiya metallurgicheskogo proizvodstva*. 2015, no 1 (16), pp. 19 – 21. [In Russ].

4. Yagüe S., Sánchez I., de la Villa Mencía R. V., García R., Zapardiel A., Frías M. Coal-mining tailings as a pozzolanic material in cements industry. *Minerals*. 2018. Vol. 8. No 2. DOI: 10.3390/min8020046.

5. Xiaomin Ma, Yuping Fan, Xianshu Dong, Ruxia Chen, Hongliang Li, Dong Sun, Suling Yao Impact of clay minerals on the dewatering of coal slurry: an experimental and molecular-simulation study. *Minerals*. 2018. Vol. 8. No 9. DOI: 10.3390/min8090400.

6. Hansdah P., Kumar S., Mandre N. R. Performance optimization of dewatering of coal fine tailings using Box-Behnken design. *Energy Sources. Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*. 2017. Vol. 40. No 1. Pp. 1 – 6. DOI: 10.1080/15567036.2017.1405112.

7. Klima M. S., Arnold B. J., Bethell P. J. *Challenges in fine coal processing, dewatering, and disposal*. Englewood, Colorado, Society of Mining, Metallurgy, and Exploration. 2012, 404 p.

8. Osborne D. G., Walton K. J. Facing the challenges of ultrafine coal recovery. *XVIII International Coal Preparation Congress: 28 June-01 July 2016 Saint Petersburg, Russia. Conference proceedings*. Springer, 2016. Pp. 439 – 444.

9. Zasyadko A. V., Kostromitin A. V., Osadchiy S. A., Lobanov F. I., Panfilov P. F., Golberg G. Yu. Dewatering of flotation concentrates and middlings on belt press filters. *Proceedings of XV International Coal Preparation Congress and Exhibition*. Beijing: China University of Mining and Technology Press. 2006. Vol. 2. Pp. 545 – 548.

10. Singh B. K., Erdmann W. Das entwässerung von flotationsbergen mit einer siebbandpresse. *Glückauf*. 1978. Vol. 114, no 7, pp. 25 – 30.

11. Leininger D., Wilczynsky P., Köling P., Erdmann W., Schieder T. Behandlung und verwertung von flotationsbergen in der Bundesrepublik Deutschland. *Glückauf*. 1979. Vol. 115, no 10, pp. 17 – 23.

12. Ksenofontov B. S., Sazonov D. V. Improvement of the method of express control of water-yielding properties of sewage sludge. *Santekhnika*. 2014, no 2, pp. 44 – 46. [In Russ].

13. Hou-Feng Wang, Hao Hu, Hua-Jie Wang, Raymond Jianxiong Zeng Impact of dosing order of the coagulant and flocculant on sludge dewatering performance during the conditioning process. *Science of Total Environment*. 2018. Vol. 643. Pp. 1065 – 1073.

14. Zasyadko A. V., Panfilov F. A., Golberg G. Yu. The method for determining of suspensions flocculant conditioning efficiency. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2003, no 3, pp. 143 – 144. [In Russ].

15. Lavrinenko A. A., Golberg G. Yu., Kunilova I. V. Mechanisms of dehydration of suspensions by drainage. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2017, no 11, pp. 28 – 33. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Лавриненко Анатолий Афанасьевич*¹ — д-р техн. наук, зав. лабораторией, e-mail: lavrin_a@mail.ru,
*Гольберг Григорий Юрьевич*¹ — канд. техн. наук, старший научный сотрудник, e-mail: gr_yu_g@mail.ru,
*Лусинян Оганес Георгиевич*¹ — канд. техн. наук, ведущий инженер, e-mail: lusinyan.oganes@yandex.ru,
¹ Институт проблем комплексного освоения недр РАН.
Для контактов: Гольберг Г.Ю., e-mail: gr_yu_g@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*A.A. Lavrinenko*¹, Dr. Sci. (Eng.), Head of Laboratory, e-mail: lavrin_a@mail.ru,
*G.Yu. Golberg*¹, Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher, e-mail: gr_yu_g@mail.ru,
*O.G. Lusinyan*¹, Cand. Sci. (Eng.), Leading Engineer, e-mail: lusinyan.oganes@yandex.ru,
¹ Institute of Problems of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of Russian Academy of Sciences, 111020, Moscow, Russia.
Corresponding author: G.Yu. Golberg, e-mail: gr_yu_g@mail.ru.

Получена редакцией 07.07.2020; получена после рецензии 08.09.2020; принята к печати 10.10.2020.
Received by the editors 07.07.2020; received after the review 08.09.2020; accepted for printing 10.10.2020.



ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК)

АНАЛИЗ УВЕЛИЧЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ КИРОВСКОГО РУДНИКА С УЧЕТОМ ГОРНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ (2020, № 5, СБ 16, 44 с.)

*Лифарь-Лаптев Александр Александрович*¹ — студент, e-mail: LifarLaptevAA@edu.misis.ru,
*Сыренов Максим Олегович*¹ — студент, *Яковлев Антон Михайлович*¹ — студент,
¹ НИТУ «МИСиС».

Предложено несколько технологических решений для действующего апатит-нефелинового месторождения, разрабатываемого Кировским рудником. Установлена зависимость производительности от количества выемочных блоков, формирующих фронт работ. Рассмотрено несколько вариантов выхода на проектную мощность, отраженных на графиках отработки месторождения вплоть до 2040 г. Сделан вывод об отработке месторождения проектной мощностью в долгосрочной перспективе, произведен анализ горных возможностей для выбора оптимальной мощности.

ANALYSIS OF THE INCREASE IN PRODUCTIVITY OF THE KIROV MINE TAKING INTO ACCOUNT MINING OPPORTUNITIES

*A.A. Lifar'-Laptev*¹, Student, e-mail: Lifar-LaptevAA@edu.misis.ru,
*M.O. Syrenov*¹, Student, *A.M. Yakovlev*¹, Student,
¹ National University of Science and Technology «MISIS», 119049, Moscow, Russia.

Several technological solutions have been proposed for the active Apatite-nepheline Deposit being developed by the Kirovsky mine. The dependence of productivity on the number of excavation blocks forming the work front is established. Several options for reaching the design capacity are considered, which are reflected in the field development schedules up to 2040. The conclusion is made about the development of the field with the design capacity in the long term, and the analysis of mining opportunities for choosing the optimal capacity is made.