

ВЫЯВЛЕНИЕ ВОЗМОЖНЫХ ПРИЧИН ПРОБЛЕМ ПРИ ОБЕЗВОЖИВАНИИ ПРОДУКТОВ ФЛОТАЦИОННОГО ОБОГАЩЕНИЯ

Кожонов А.К.¹, Молмакова М.С.², Дуйшонбаев Н.П.³

¹ОcOO «GeotechserviceTechnology», Бишкек, Кыргызская Республика

²Институт горного дела и горных технологий им. У.Асаналиева при Кыргызском государственном техническом университете им. И.Раззакова, Бишкек, Кыргызская Республика

³ОcOO «KazmineralsBozymchak», Бишкек, Кыргызская Республика

Аннотация

Постановка задачи (актуальность работы): Актуальность рассматриваемого вопроса обусловлена тем, что в условиях полного водооборота фабрики при неэффективной работе процессов обезвоживания происходит насыщение циркулирующей воды шламами крупностью менее 5 мкм. Отрицательное влияние шламов отражается в показателях фильтрации продуктов обогащения: снижается производительность фильтровального оборудования и повышается влажность готовой продукции. Цель работы – выявление причин снижения производительности фильтровального оборудования и предложение эффективных способов решения проблемы. Используемые методы: определение гранулометрического состава продуктов сгущения на лазерном дифракционном анализаторе «Analysette 22» фирмы «Fritsch». Анализ минералогического состава фильтруемых продуктов, подбор реагента-флокулянта для эффективного сгущения и фильтрации флотационных концентратов. Микроскопический анализ внутренних пор керамических панелей дискового керамического фильтра. Новизна: комплексный подход к решению проблемы фильтрации тонких шламов с установлением факторов, ухудшающих технологические параметры. Результаты: выявлены причины забивания пор фильтрующих элементов и определены направления повышения производительности и достижения проектных показателей по влажности готовой продукции. Практическая значимость: результаты исследований могут быть полезными для горно-обогатительных предприятий, использующих процессы обезвоживания концентратов и флотационных хвостов с целью сухого складирования.

Ключевые слова: сгущение, фильтрация, гранулометрический анализ, минералогический анализ, керамический фильтр, пресс-фильтр, флокулянты.

Введение

Известно, что для разделения неоднородных дисперсных систем (сусpenзий) применяют отстаивание (сгущение), фильтрование и центрифугирование. Эффективность разделения повышается использованием в сочетании с ними процессов промывки осадков и сгущенных пульп. Их закономерности определяются гидродинамикой и в большой степени зависят от конструкции аппаратов и технологических условий их эксплуатации [5, 13]. Обезвоживание относится к вспомогательным операциям при обогащении минерального сырья. Но значение его постоянно повышается, так как возрастает добыча тонков-крапленных руд и соответственно выпуск тонкоизмельченных продуктов, направляемых на обезвоживание. Наиболее это характерно для новых обогатительных производств, зачастую перерабатывающих бедное и труднообогатимое сырье, требующее для полного извлечения ценных компонентов тонкого измельчения горной

массы. Фильтрация получаемых продуктов на подобных производствах осложнена и имеет низкую эффективность. Данная проблема существует на обогатительной фабрике, перерабатывающей методом флотации скарновые сульфидные медно-золотые руды. Максимальная производительность участка фильтрации золотомедного концентрата 17–20 т в сутки (по проекту ~100 т) с влажностью кека не ниже 19–20 % (по проекту 12 %).

Фильтрационному разделению технологических растворов и пульп в настоящее время уделяется особое внимание во всем мире. Этот процесс относится к числу наиболее перспективных и насущных задач химической технологии, ключевым переделом химического, горнодобывающего, металлургического и многих других производств. Обострившаяся проблема эффективной фильтрации промышленных стоков и шламов – процесса, являющего зачастую лимитирующей стадией всей технологии, источником экологического риска и объектом высоких эксплуатационных затрат, стала причиной быстрого развития этой области науки и техники [1].

При мембранный фильтрации материалов применяется способ модифицирования поверхности мембраны диоксидом титана, и при его использовании гидрофильность и проницаемость поверхности увеличиваются, а загрязнение поверхности уменьшается [3].

В результате работы алюминиевых заводов, использующих процесс Байера, образуются отходы, состоящие в основном из оксидов железа, алюминия, титана и других металлов. Эти отходы являются тонкоизмельченными, и для переработки данных материалов применяются процессы сгущения и фильтрования. Обезвоживание данных материалов характеризуется сложной зависимостью показателей от условий осуществления процесса, и фильтрация под давлением позволяет получать осадки с влажностью до 32,8 % при температуре около 20 °C [4].

Плотность пульпы оказывает значительное влияние на результаты фильтрования. Повышение плотности пульпы способствует повышению производительности фильтра. Для достижения высокой плотности для фильтрации процесс сгущения пульпы должен работать эффективно. Скорость осаждения при сгущении зависит от размера частиц, их формы, разности плотностей твердой фазы и жидкости, вязкости жидкости и содержания твердой фазы в суспензии. Два параметра в выражении для скорости – диаметр частицы и доля жидкой фазы в суспензии – входят в формулу в степенных зависимостях, следовательно, даже незначительное увеличение размеров частиц и (или) соотношения содержания жидкой и твердой фазы будут вызывать значительное изменение скорости осаждения [8].

Большая доля тонкодисперсных классов в сгущаемой пульпе (80 % – 0,045 мм и 72 % – 0,020 мм) обусловлены содержанием в руде волластонита. Шламы волластонита имеют игольчатую форму, забивают поры плит керамических фильтров и поры фильтровальных тканей. Кроме того, остаточное количество применяемых флокулянтов (полиакриламид) в составе фильтруемых продуктов усугубляет процесс фильтрации, образуя труднофильтруемые влагоемкие комплексы [6, 7].

Материалы и методы исследования

Проведен гранулометрический анализ полученных продуктов на лазерном дифракционном анализаторе «Analysette 22» фирмы «Fritsch».

Минералогический анализ продукта выполнен на автоматизированном анализаторе для петрографических исследований MLA 650.

Осуществлен подбор более эффективного

флокулянта по сравнению с применяемым на обогатительной фабрике флокулянтом «Magnofloc 352». Испытывались флокулянты из серии «Superfloc» (табл.1).

Таблица 1

Используемые флокулянты

Наименование	Рабочие концентрации
Magnofloc 352	0,1 % раствор
Superfloc A 150HMW	0,1 % раствор
Superfloc A 137HMW	0,1 % раствор

Для исследования использовались равные по объему пробы. Рабочие растворы флокулянтов приготавливались в день проведения испытаний. В мерный цилиндр помещалась проба объемом 500 мл. Раствор полимера вводился в подготовленную пробу и перемешивался способом 10-кратного переливания во второй цилиндр. После смешивания пробы с раствором флокулянта оценивалась скорость осаждения и мутность фугата (осветленной жидкой фазы). Содержание взвешенных веществ (мг/л) в осветленной воде измеряли турбидиметром-мутномером «2100Q» фирмы «HACH» [14].

Были проведены сравнительные исследования в лабораторных установках дискового керамического фильтра и пресс-фильтра. Испытания на дисковом керамическом фильтре выполнены на лабораторной установке ДКДФ-0.03 (Бакор), которая имеет площадь фильтрации 0,03 м² и представляет собой автоматизированный комплекс, состоящий из вакуум-фильтра, блока вакуумирования, систем обратной промывки, химической и ультразвуковой регенерации, позволяющий полностью смоделировать процесс фильтрации в непрерывном режиме в лабораторных условиях. В испытании участвовали 4 типа фильтрующих панелей: С1 – одноканальный, размеры пор 2–4 мкм; С2 – двухканальный, размер пор 2–4 мкм; П1 – безмембранный одноканальный, размер пор 10–15 мкм; П2 – безмембранный двухканальный, размер пор 10–15 мкм.

Испытания на пресс-фильтре выполнены на лабораторной фильтровальной установке. Схема установки пресс-фильтра приведена на рис. 1.

В фильтровальную воронку подается давление через шланг из баллона с редуктором, наполненного инертным газом. При создании перепада давления на фильтровальной ткани происходит разделение на жидкую и твердую фазы. Фильтрат отводится по шлангу в мерный цилиндр, полученные данные фиксируются. Операция «отжим» представляет собой механическое уплотнение структуры осадка, которое

производится резиновой диафрагмой. Диафрагма вкладывается в воронку поверх сформированного осадка. Операция «фильтрование» проводилась при давлении 4–5 бар. Длительность данной операции варьировалась от 130 до 820 с, в зависимости от количества залитой пульпы.

Произведен визуальный и микроскопический анализ внутренности сколов фильтрующих элементов дисковых керамических фильтров.

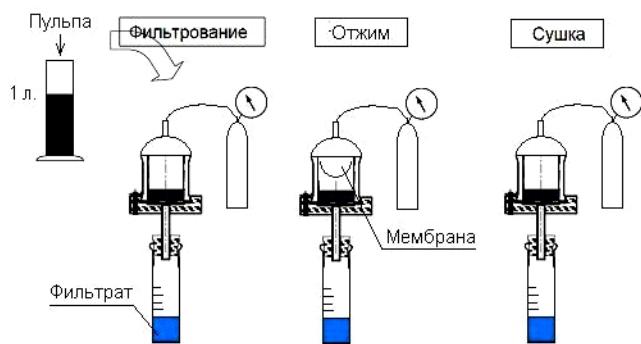


Рис.1. Установка пресс-фильтра

Обсуждение результатов

Результаты гранулометрического анализа приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты гранулометрического анализа продуктов обогащения

Концентрат		Хвосты	
Распределение класса, %	Размер частиц, мкм	Распределение класса, %	Размер частиц, мкм
0,1	0,342	0,1	1,132
5,0	1,066	5,0	2,017
10,0	2,367	10,0	5,095
20,0	8,248	20,0	23,407
50,0	21,357	50,0	44,068
80,0	38,713	80,0	66,273
100,0	32,491	100,0	119,556

Из результатов гранулометрического анализа следует, что продукты обогатительной фабрики на 10 % представлены шламами, крупность которых не превышает 3–5 мкм. Концентрат существенно мельче хвостов. В концентрате неблагоприятная для фильтрации фракция составляет около 50 %, в хвостах – 20 %.

Результаты микроскопического анализа приведены в табл. 3.

В ходе минералогического анализа получены изображения продуктов в режиме программной визуализации, где каждый минерал имеет свой цвет (рис. 2).

Таблица 3

Минералогический состав продуктов обогащения

Минерал	Концентрат, %	Хвосты, %
Самородное Au	0,01	0,00
Самородное Fe	0,01	0,04
Сульфиды Cu	36,34	0,10
Блеклая руда	0,20	0,00
Прочие сульфиды	0,60	0,00
Вторичные карбонаты и сульфаты Cu	0,68	0,03
Гидроксиды Fe + Хризоколла	3,63	0,43
Пирротин	1,36	0,00
Пирит	5,11	0,03
Гидроксиды Fe	0,66	0,17
Карбонаты	7,53	12,79
Кварц	6,93	10,65
Волластонит	3,23	11,58
Гранаты	7,94	26,82
Везувиан	3,09	7,45
Каолинит	0,01	0,05
Слюдя	0,18	0,05
Сerpентин	6,70	0,62
Пироксены	10,26	23,68
Полевые шпаты	2,38	3,03
Амфиболы	1,30	0,74
Цеолиты	0,30	0,71
Прочие породные минералы	0,67	0,95
Прочие минералы	0,89	0,07
Всего:	100,00	100,00

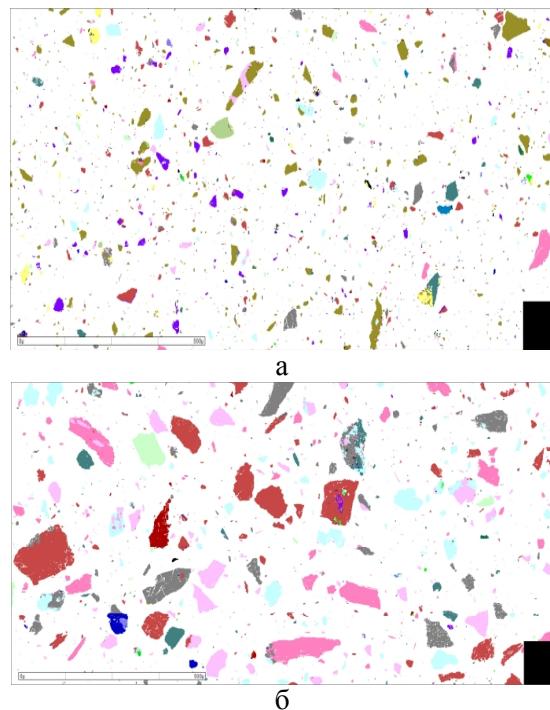
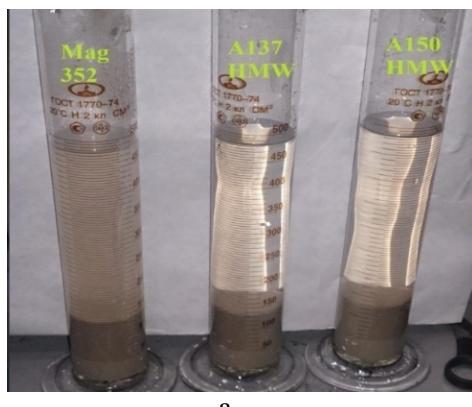


Рис. 2. Снимки: а – концентрат; б – хвостов

На снимках наблюдается массовое содержание шламовых минералов: в хвостах – более 50%, в концентрате – 30%.

Визуальные результаты применения различных флокулянтов для сгущения хвостов и концентратов приведены на **рис. 3.**

Результаты изменения положения границы осадка через промежутки времени с определением мутности фугата при сгущении приведены в **табл. 4.**

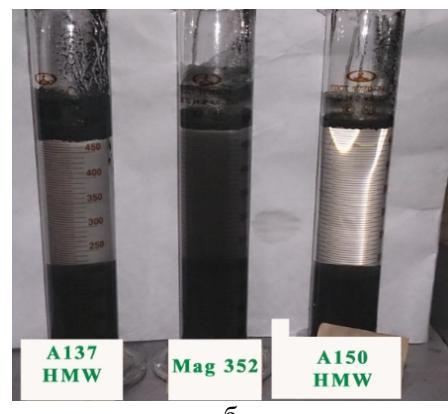


а

Осаждение происходит быстрее при сгущении хвостов и концентратов при применении флокулянта Superfloc A 150 HMW. Мутность образовавшегося фугата (осветленной жидкой фазы) также ниже у флокулянта Superfloc A 150 HMW.

Результаты фильтрации продуктов обогащения на дисковом керамическом фильтре ДКДФ-0.03 приведены в **табл. 5.**

Снимки внутренней полости фильтрующих панелей приведены на **рис. 5.**



б

Рис. 3. Мерные цилиндры, содержащие, хвосты (а), концентраты (б), обработанные разными флокулянтами (дозировка 5 мл – 15 г/т)



Рис. 4. Загрязнение фильтрующих элементов

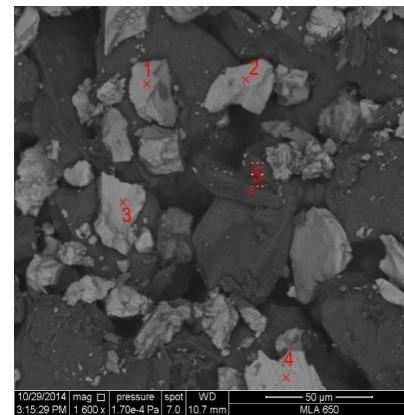
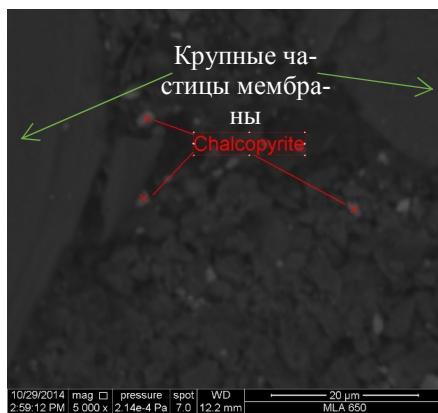


Рис. 5. Микроскопические снимки мембранны и внутренней полости керамических панелей

По результатам фильтрации установлено, что фильтрующие элементы разных типов имеют различную эффективность, при этом элементы с мембраной (С1 и С2) показывают более высокую производительность по сравнению с элементами без мембранны (П1 и П2).

Результаты фильтрации концентратов на пресс-фильтре приведены в **табл. 6**.

В результате определен эффективный тип фильтровальной ткани 262 70F, при применении

которого установлено расчетное время одного цикла – 26 мин и 2,31 цикла в час. Влажность кека 6,5%.

При визуальном изучении сколов керамических панелей наблюдается значительное загрязнение фильтрующих элементов изнутри и в меньшей степени снаружи (**рис. 4**).

Внутренняя полость значительно загрязнена частицами, которые идентифицированы, как сульфиды меди – халькопирит и борнит.

Таблица 4

Результаты испытаний по сгущению с различными флокулянтами

Флокулянт	Материал	Изменение положения границы осадка (мл) во времени (с)							Мутность, NTU
		10	20	40	60	90	120	150	
Magnofloc 352	Хвосты	440	390	350	315	260	240	240	235
	Концентрат	440	425	390	370	345	310	280	250
Superfloc A 150HMW	Хвосты	320	280	250	230	220	210	200	195
	Концентрат	410	350	280	250	225	210	200	195
Superfloc A 137HMW	Хвосты	370	310	260	240	220	210	205	17,2
	Концентрат	445	430	400	375	340	290	265	71,2

Таблица 5

Результаты фильтрации хвостов обогащения на фильтрующих элементах «Бакор»

Номер панели	Вакуум, бар	Масса влажного кека, гр	Объем фильтрата, см ³	Влажность кека, %	Масса сухого кека, гр	Производительность по сухому кеку, кг/м ² ч
Без добавления флокулянта						
C1	0,8	254	120	15,74	205	407
C2	0,8	220	120	14,95	184	369
П1	0,8	214	100	16,3	179	358
П2	0,8	204	98	16,11	169	345
С добавлением флокулянта Superfloc A 150 HMW – 30г/т						
C1	0,8	293	200	16,23	245	491
C2	0,8	273	170	17,00	232	453
П1	0,8	243	160	16,07	202	403
П2	0,8	255	200	15,26	214	428

Таблица 6

Результаты фильтрации концентратов на пресс-фильтре

Наименование пульпы	Фильтровальная ткань	Время фильтрации, мин	Время отжима и просушки, мин	Объем суспензии, мл	Толщина осадка, мм	Влажность осадка, %
Концентрат	262 70 F	13,66	6	1300	48	6,5
	97350 K	2,16	3,5	500	18	11
	97350 K	6,00	4	800	28	12,1
	97350 K	8,33	4	1300	50	12,84
	97350 K	7,16	6	1100	43	11,2
	97350 K	7,50	6	1100	40	11

Выводы:

1. Фильтрация пульп с большим содержанием мелкой фракции отличается низкой эффективностью, а именно: критической является фракция крупностью менее 5 мкм (содержание в хвостах 10 %, в концентрате более 18 %), которая забивает поры фильтрующих элементов, образуя естественную плотную мембрану на поверхности фильтрующего элемента, что затрудняет образование достаточного слоя кека (снижается производительность фильтра). Шламы обладают большой удельной поверхностью, благодаря чему могут удерживать большое количество воды, повышая влажность кека.

2. По результатам минералогического анализа концентрата и хвостов выявлены факторы, отрицательно влияющие на фильтрацию данных продуктов: значительное количество относительно крупных минералов пустой породы (волластонит, серпентин, карбонаты и пироксены). Причем, имея низкую плотность ($2,6-2,8 \text{ г/см}^3$), их объемное содержание в продуктах может составлять от 50 до 80%. При тонком измельчении данные минералы (волластонит) приобретают неблагоприятные для фильтрации пластинчатые и игольчатые формы.

3. Наиболее эффективным из рассмотренных флокулянтов является флокулянт марки Superfloc A 150 HMW. Высокая мутность осветленной жидкости говорит о присутствии тонких шламов. При замкнутом водообороте ОФ данные шламы будут накапливаться в процессах флотации и фильтрации, значительно ухудшая их технологические показатели.

4. При фильтрации на дисковом керамическом фильтре элементы с мембранный (C1 и C2) показывают более высокую производительность по сравнению с элементами без мембранны (P1 и P2), что косвенно подтверждает предположение о механической забивке шламами элементов с размером пор более 5–10 мкм. Добавление флокулянта способствует связыванию части шламов во флоккулы, дополнительно повышая производительность в среднем на 10–15 %.

5. Применение пресс-фильтра при фильтрации концентратов позволяет достичь высоких параметров производительности (98 т/сут) с влажностью 6,5%.

6. Визуальный и микроскопический анализ внутренности керамических панелей выявил сквозной проскок минеральных частиц в основном халькопирита с фильтратом. Наблюдается забивка внутренней поверхности керамической основы частицами халькопирита при обратной

промывке, что приводит к низкой пропускной способности пластин. Это результат снижения производительности и повышения влажности.

Заключение

В целях решения описанной проблемы необходимо внедрить механическое удаление шламов из водооборота ОФ, применить раздельную фильтрацию песковой и шламовой части фильтруемой пульпы, более эффективных фильтрующих элементов, с подбором размеров пор и типа фильтрующей мембранны и более эффективных реагентов-флокулянтов для укрупнения шламов во флоккулы. При обезвоживании концентратов целесообразно применять фильтрацию на пресс-фильтрах.

Список литературы

1. Белогазов И.Н. Фильтрование технологических пульп. М.: ФГУП «Издательский дом «Руда и металлы», 2003. 320 с.
2. Бондарь В.В., Красный Б.А. Состояние и перспективы применения дисковых вакуумных фильтров с керамическими фильтрующими элементами в технологии обезвоживания горно-обогатительных производств // Обогащение руд. 2007. №2. С. 39–43.
3. Перспективы применения мембранный фильтрации на горно-обогатительных предприятиях / Алексеева Е.А., Бричкин В.Н., Николаева Н.В., Биленко Л.Ф. // Обогащение руд. 2013. №3.
4. Обезвоживание красного шлама и основные направления его переработки / Бричкин В.Н., Дубовиков О.А., Николаева Н.В., Беседин А.А.// Обогащение руд. 2014. №1.
5. Сизяков В.М., Дубовников О.А., Николаева Н.В. Исследование процесса разделения неоднородных дисперсных систем при кондиционировании бокситов // Записи Горного института. 2013. Т. 202. С. 56–62.
6. Кожонов А.К., Ящук А.А., Дуйшонбаев Н.П. Исследование сгущаемости продуктов флотации полимерными флокулянтами и определение влияния флокулянтов на процесс фильтрации // Технические науки – от теории к практике: сб. ст. по матер. XLI междунар. науч.-практ. конф. № 12(34). Ч. II. Новосибирск: СибАК, 2016. С. 32–47.
7. Орозова Г.Т., Кожонов А.К., Молмакова М.С. Комплексные решения при интенсификации процесса сгущения // Технические науки – от теории к практике: сб. ст. по матер. LXII междунар. науч.-практ. конф. № 9(57). Новосибирск: СибАК, 2016. С. 32–40.
8. Бауман А.В. Сгущение и водооборот на предприятиях цветной металлургии // Сборник докладов VII Международного Конгресса «Цветные металлы и минералы». Красноярск, 2015. С. 791–795.
9. Mizra S., Richardson J.F. Sedimentation of suspension of particles of two or more sizes // Chem. Eng. Sci. 1979. V. 34. P. 447–454.

10. Method 8006 (DOC316.53.01139). Suspended Solids. Photometric Method (750 mg/L TSS). Edition 9. HACH Company, 2014. 4 p.
11. Porter J.L., Scandrett H.F. / Interpretation of settling test data for estimation of area requirements for settling and consolidation of muds // Extractive Metallurgy of Aluminium. 1963. Vol. 1. P.95–112.
12. Talmage S.P., Fitch E.B. / Determining of unit area thickeners // Industrial and Engineering Chemistry. 1955. Vol. 47. № 1. 17 p.
13. Fitch B. Current theory and thickener design. An authoritative critique of the established and recently proposed methods of thickener design // Industrial and Engineering Chemistry. 1966. Vol. 58. № 10. P.18–28. DOI: 10.1021/ie50682a006
14. Method 8006 (DOC316.53.01139). Suspended Solids. Photometric Method (750 mg/L TSS). Edition 9. HACH Company, 2014. 4 p.

Поступила 18.04.18
Принята в печать 04.06.18

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

<https://doi.org/10.18503/1995-2732-2018-16-3-17-24>

IDENTIFYING POSSIBLE CAUSES OF PROBLEMS IN THE DEWATERING OF FLOTATION PRODUCTS

Almaz K. Kozhonov – PhD (Eng.), General Director Geotechservice Technology, Bishkek, Kyrgyz Republic. E-mail kozhonov@mail.ru

Mira S. Molmakova – PhD (Eng.), Associate Professor Institute of Mining and Mining Technologies named after academician U. Asanaliev, a part of Razzakov Kyrgyz State Technical University, Bishkek, Kyrgyz Republic. E-mail: molmakova_m@mail.ru

Nazym P. Duyshonbaev – Minerals Processing Engineer KazmineralsBozymchak, Bishkek, Kyrgyz Republic.

Abstract

Problem Statement (Relevance): The relevance of the problem under consideration is due to the fact that if a concentration plant uses a water recirculation system and if the dehydration processes lack efficiency, the circulating water gets saturated with slurries of less than 5 microns. The negative effect of slurries is reflected in the product filtration indicators. Thus, the filter throughput drops and the final products become more moist. **Objectives:** The objective of this research is to identify the cause of the decreased performance of the filtering equipment and to come up with good solutions for the problem. **Methods Applied:** Size distribution analysis of the concentration products using Fritsch's Analysette 22 laser diffraction analyzer; mineralogical analysis of the filtered products, selection of the flocculant for efficient thickening and filtration of flotation concentrates; microscopic analysis of internal pores of ceramic filtering plates. **Originality:** This research provides a comprehensive approach to solving the problem of filtering fine slurries and identifying factors that may impact the process performance. **Findings:** The authors found what caused the plugging of pores in the filters and how to increase the throughput and reach the design moisture content parameters in the final product. **Practical Relevance:** The results of this research can be useful for mining companies relying on dewatering processes for concentrates and flotation tailings so that they can be stored as dry products.

Keywords: Thickening, filtration, particle size analysis, mineralogical analysis, ceramic filter, filter press, flocculants.

References

1. Beloglazov I.N. *Filtrovaniye tekhnologicheskikh pulp* [Filtration of process slurries]. Moscow: Ore and Metals Publishing house, 2003, 320 p. (In Russ.)
2. Bondar V.V., Krasny B.A. Current status and prospects of using ceramic vacuum disc filters in dewatering processes of mining and processing sites. *Obogashchenie rud* [Beneficiation of ores], 2007, no.2, pp. 39–43. (In Russ.)
3. Alekseeva E.A., Brichkin V.N., Nikolaeva N.V., Bilenko L.F. Prospects of using membrane filters at mining and processing sites. *Obogashchenie rud* [Beneficiation of ores], 2013, no. 3. (In Russ.)
4. Brichkin V.N., Dubovik O.A., Nikolaeva N.V., Besedin A.A. Dehydration of red mud and main processing techniques. *Obogashchenie rud* [Beneficiation of ores], 2014, no. 1. (In Russ.)
5. Sizyakov V.M., Dubovnikov O.A., Nikolaeva N.V. Understanding the homogeneous disperse system separation process in bauxite conditioning. *Zapisi Gornogo instituta* [Proceedings of the Mining Institute], 2013, vol. 202, pp. 56–62. (In Russ.)
6. Kozhonov A.K., Yashchuk A.A., Duyshonbaev N.P. Studying the condensability of the flotation products by polymer flocculants and the effect of flocculants on the filtration process. *Tekhnicheskie nauki – ot teorii k praktike: sb. st. po mater. XLI mezhdunar. nauch.-prakt. konf. # 12(34). Ch. II* [Engineering sciences – From theory to practice: Proceedings of the XLI International Conference No. 12 (34). Part II]. Novosibirsk: SibAK, 2016, pp. 32–47. (In Russ.)
7. Orozova G.T., Kozhonov A.K., Molmakova M.S. Comprehensive solutions for the intensification of the thickening

- process. *Tekhnicheskie nauki – ot teorii k praktike: sb. st. po mater. LXII mezhdunar. nauch.-prakt. konf. # 9(57)* [Engineering sciences – From theory to practice: Proceedings of the LXII International Conference No. 9(57)]. Novosibirsk: SibAK, 2016, pp. 32–40. (In Russ.)
8. Bauman A.V. Thickening and water circulation in non-ferrous metallurgy industry. *Sbornik dokladov VII Mezhdunarodnogo Kongressa "Tsvetnye metally i mineraly"* [Proceedings of the VII International Congress on Non-Ferrous Metals and Minerals]. Krasnoyarsk, 2015, pp. 791–795. (In Russ.)
9. Mizra S., Richardson J.F. Sedimentation of suspension of particles of two or more sizes. *Chem. Eng. Sci.* 1979. V. 34. P. 447–454.
10. Method 8006 (DOC316.53.01139). Suspended Solids. Photometric Method (750 mg/L TSS). Edition 9. HACH Company, 2014. 4 p.
11. Porter J.L., Scandrett H.F. Interpretation of settling test data for esmnbgton of area requirements for settling and consolidation of nuds. *Extractive Metallurgy of Aluminium.* 1963, vol.1, pp. 95–112.
12. Talmage S.P., Fitch E.B. Determining of unit area thickeners. *Industrial and Engineering Chemistry.* 1955, vol. 47, no 1. 17 p.
13. Fitch B. Current thecru and thiékener design. An autoritativecritique of the established and recently proposed methods thiékener design. *Industrial and Engineering Chemistry.* 1966, vol. 58, no 10, pp. 18–28. DOI: 10.1021/ie50682a006
14. Method 8006 (DOC316.53.01139). Suspended Solids. Photometric Method (750 mg/L TSS). Edition 9. HACH Company, 2014. 4 p.

Received 18/04/18

Accepted 04/06/18

Образец для цитирования

Кожонов А.К., Молмакова М.С., Дуйшонбаев Н.П. Выявление возможных причин проблем при обезвоживании продуктов флотационного обогащения // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2018. Т.16. №3. С. 17–24. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2018-16-3-17-24>

For citation

Kozhonov A.K., Molmakova M.S., Duyshonbaev N.P. Identifying possible causes of problems in the dewatering of flotation products. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2018, vol. 16, no. 3, pp. 17–24. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2018-16-3-17-24>
