© М.В. Рыльникова, В.А. Ангелов, И.С. Туркин, 2014

УДК 622.771:622.273.2:5

М.В. Рыльникова, В.А. Ангелов, И.С. Туркин

ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ И КОМПЛЕКСА ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ ТЕКУЩИХ ХВОСТОВ ОБОГАЩЕНИЯ В ВЫРАБОТАННОМ ПОДЗЕМНОМ ПРОСТРАНСТВЕ[*]

Проведен анализ накоплений отходов переработки руд на дневной поверхности и влияния их на окружающую среду. Рассмотрен опыт складирования отходов отечественными и зарубежными предприятиями. Разработана технология утилизации отходов переработки руд в выработанном пространстве с применением вертикальных сгустителей, расположенных в подземном пространстве рудника. Произведена оценка эффективной работы вертикальных сгустителей по сгущению тонкодисперсных отходов переработки руд.

Ключевые слова: закладка выработанного пространства, отходы добычи руды, отходы переработки руд, подземный закладочный комплекс, вертикальный сгуститель, флокулянт, технологическая схема.

В настоящее время проблема эффективного размещения дисперсных отходов обогащения является весьма актуальной для горно-обогатительных предприятий с экономической и экологической точек зрения. Для предотвращения развития экстенсивного накопления отходов производства на дневной поверхности, необходимо особое внимание уделять вопросам рационального их складирования и утилизации.

Анализ практики складирования отходов обогащения указал на то, что наибольшее распространение получил способ гидронамыва, который заключается в подаче пульпы, содержащей твердую и жидкую фазы, к месту сброса. Тем самым на земной поверхности формируются огромные по занимаемой площади хранилища отходов обогатительного производства, оказывающие негативное воздействие на живую природу, в том числе и на человека [1].

Однако, имеется и положительный опыт использования горными предприятиями текущих отходов обогатительного производства в качестве наполнителя для твердеющей закладки выработанного подземного пространства [1, 2, 3]. Так, например, использование хвостов обогащения для гидравлической (ОАО «КМА руда») и твердеющей (Учалинский ГОК, Гайский ГОК, Норильский никель) закладки подземных камер позволяет существенно сократить затраты на формирование искусственного массива.

К достоинствам таких схем следует отнести использование доступного дешевого наполнителя смесей, утилизацию хвостов и, как следствие, сокращение налога за размещение отходов, снижение негативного экологического воздействия на окружа-

[*] Работа выполнена при поддержке программы фундаментальных исследований Отделения наук о Земле РАН «Фундаментальные проблемы и перспективы использования потенциала комплексного освоения недр на основе развития ресурсосберегающих и ресурсовоспроизводящих геотехнологий (ОНЗ-3).

ющую среду. Недостатками является высокая энерго- и материалоемкость операций обезвоживания компонентов в закладочной смеси.

С этих позиций перспективой развития закладки выработанного пространства является изыскание комплекса оборудования, способного размещаться в подземном выработанном пространстве отходов горного и металлургического производств с возможностью обеспечения требуемых реологических характеристик закладочной смеси и необходимой производительности закладочного комплекса рудника.

Изыскание нового оборудования для обезвоживания текущих хвостов обогащения руд в подземных горных выработках является весьма актуальной задачей и представляет большой научный и практический интерес.

Анализ мирового опыта сгущения тонкодисперсных материалов, указал на то, что для сгущения хвостов обогащения в подземных выработках наиболее целесообразны вертикальные сгустители, нашедшие применение в зарубежной практике сгущения хвостов на поверхности [2]. Вертикальные сгустители способны осуществить процесс обезвоживания до 60% при сравнительно небольших габаритных размерах. Однако прецедентов по установке и эффективной работе вертикальных сгустителей в подземных выработках до настоящего времени не было.

В лабораторных условиях нами была разработана конструкция вертикального шахтного сгустителя (рис. 1).

При разработке устройства за основу был принят принцип тонкослойного сгущения с применением наклонных пластин. Корпус сгустителя был максимально адаптирован для установки в подземных выработках. Разработанный сгуститель состоит из двух основных компонентов: верхнего модуля *1* (рис. 1) с пластинами *2*, наклоненными под углом 55 граду-

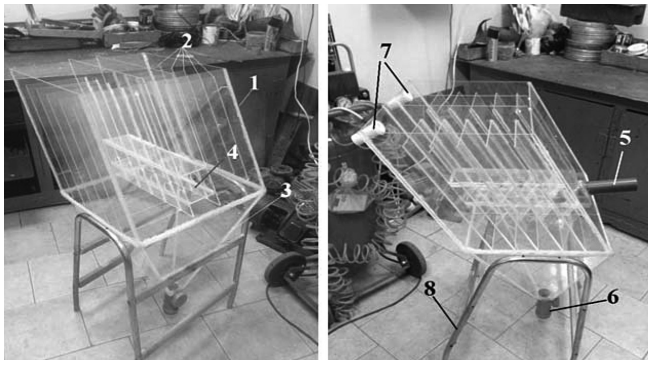

Рис. 1. Пилотная модель вертикального сгустителя: 1 – верхний модуль; 2 – наклонные пластины; 3 – накопитель сгущенного продукта; 4 – питающий карман; 5 – питающий патрубок; 6 – патрубок для разгрузки сгущенного продукта; 7 – патрубки для слива осветленной жидкости; 8 – опорная конструкция

Рис. 2. Общий вид лабораторной установки:1 – центробежный насос; 2 – емкость для текущих хвостов обогащения; 3 – пилотная модель вертикального сгустителя; 4 – подающий трубопровод (напорный); 5 – всасывающий трубопровод

Характеристики хвостов обогащения Учалинской фабрики

pH	11–12
Плотность пульпы	от 1,107 до 1,258
Ситовой состав	84% минус 74 мкм
38% минус 25 мкм	
Плотность твердого	3,8 т/м^3
Содержание твердого в питании	от 20 до 25%

сов, и нижнего конического пирамидального накопителя сгущенного продукта *3*.

Для обоснования рациональных режимов работы сгустителя и разработки технологической схемы его функционирования в лаборатории был смоделирован процесс работы вертикального шахтного сгустителя. На рис. 2 приведен общий вид лабораторной установки.

Для исследований были выбраны текущие хвосты обогащения Учалинской обогатительной фабрики, основные характеристики которых приведены в таблице.

На первоначальном этапе лабораторного исследования в емкости *2* (рис. 2) осуществлялось приготовление исходного питания сгустителя путем доведения рассчитанного количества материала до 20–25% твердого с использованием механического устройства для перемешивания смесей.

Рис. 3. Наличие мелкодисперсных частиц в зоне чистого слива

Исходное питание поступало непрерывно посредством центробежного насоса *1* (рис. 2) в питающий карман *4*, расположенный в центральной части верхнего модуля *1* и далее через питающие отверстия – в камеру с наклонными пластинами, где происходил непосредственно процесс сгущения тонкодисперсной смеси.

Такой метод подачи питания обеспечивал равномерное распределение потока между всеми пластинами при минимальной турбулентности потока в точках входа. Твердая фаза осаждалась на поверхности наклонных пластин и разгружалась с них в накопитель сгущенного продукта, где происходило дальнейшее уплотнение материала.

Проведенные исследования указали на низкую скорость осаждения мелкодисперсных частиц и весьма высокую загрязненность сливов (рис. 3).

Так, концентрация взвешенных твердых частиц в сливе вертикального сгустителя составила 3 г/л, а цикл сгущения 100 л пульпы с содержанием твердого 23% в исходном питании и 60% – в сгущенном продукте составил 18 часов.

Данный факт указал на то, что эксплуатация разработанной конструкции сгустителя является неэффективной для сгущения пульпы мелкодисперсных частиц, и необходимо применениедополнительных реагентов – флокулянтов. Данные реагенты необходимы для достижения приемлемой скорости осаждения частиц крупностью менее 25 микрон и для

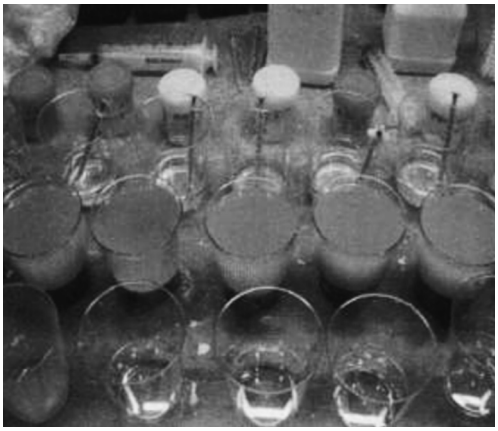

Рис. 4. Тестирование флокулянтов в стаканах

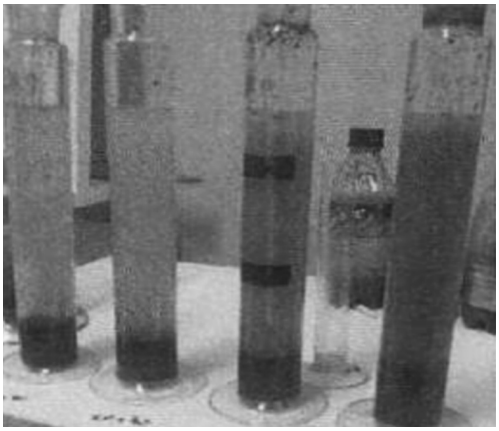

Рис. 5. Тестирование флокулянтов в цилиндрах

получения требуемой плотности сгущенного продукта.

В соответствии с этим второй этап лабораторных исследований предусматривал оценку показателей работы сгустителя с подачей в процесс реагентов флокулянтов. Этому предшествовали работы по подбору наиболее эффективного флокулянта и внесение изменений в конструкцию пилотного сгустителя.

Тест по подбору флокулянтов осуществлялся в прозрачных стаканах объемом 250 мл (рис. 4).

В ходе сравнительного лабораторного тестирования оценивалась работа реагентов марок Магнафлок, Налко, СНФ, Праестол, Flourget. На втором этапе те флокулянты, которые показали наилучшую чистоту слива и высокую скорость осаждения в стаканах, тестировались в цилиндре объемом 1000 мл (рис. 5).

Все флокулянты для опытов в цилиндрах готовились в виде раствора с концентрацией 0,05%. В ходе тестов в цилиндрах было отобрано три флокулянта Flourget AD17E, Magnafloc-919

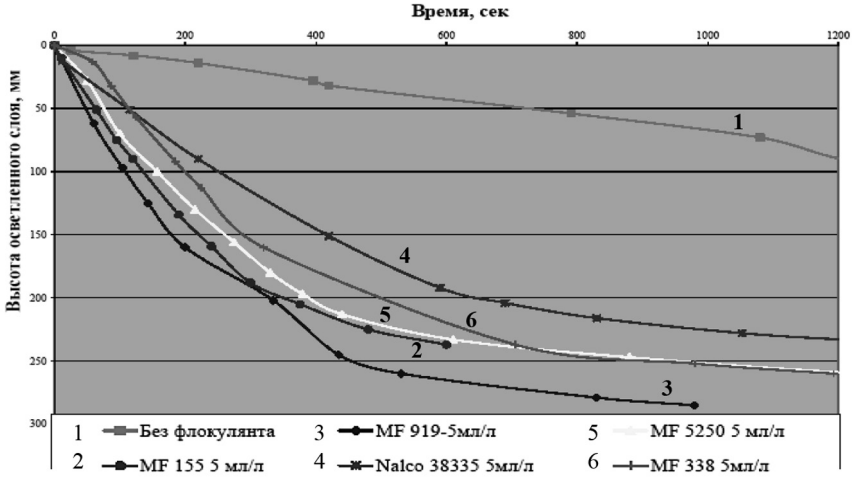

Рис. 6. Зависимости скорости осаждения хвостов обогащения при использовании различных флокулянтов

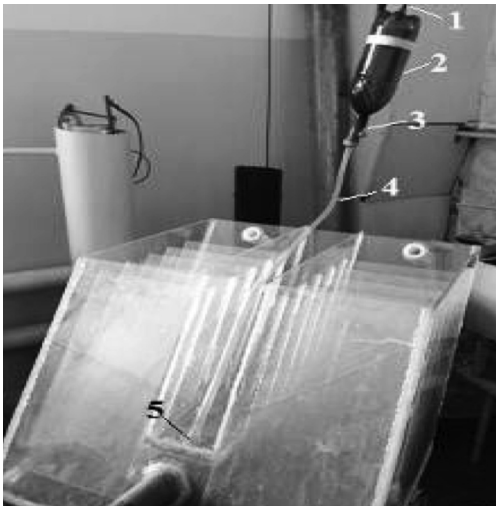

Рис. 7. Усовершенствованная модель сгустителя с установленным узлом флокуляции: 1 –золотник; 2 – емкость для флокулянта; 3 – кран для регулирования скорости подачи флокулянта; 4 – трубопровод для подачи флокулянта; 5 – место врезки трубопровода в конструкцию

Рис. 8. Работа вертикального сгустителя при подачи в процесс флокулянта

и Magnafloc-155, показавших лучшие результаты по скорости осаждения и чистоте слива. На основании замеров скорости осаждения частиц были построены кривые осаждения, представленные на рис. 6, позволяющие выбрать предпочтительный тип флокулянта.

Для дальнейших лабораторных испытаний был выбран реагент Magnafloc-919, он показал наилучший баланс между скоростью осаждения и чистотой слива. Другие флокулянты при той же дозировке обеспечивали меньшую скорость осаждения и/или менее качественный слив. Концентрация флокулянта для пилотных испытаний была принята равной 0,05%, при его расходе 25 г/т.

Для осуществления эффективной подачи реагента конструкция сгустителя была дополнена узлом флокуляции (рис. 7), который обеспечивал его равномерную подачу в поток исходного питания и максимальный флокулирующий эффект.

Трубопровод для подачи флокулянта 4 был врезан в питающий карман навстречу подачи исходного питания. Таким образом, обеспечивался максимальный контакт реагента с исходным питанием, за счет высокой турбуленции потока в данной точке.

В ходе проведения второго этапа лабораторного исследования выяснилось, что подача флокулянта в процесс сгущения текущих хвостов обогащения обеспечивает высокую чистоту сливов (рис. 8) и позволяет получить сгущенный продукт высокой плотности (более 55% тв).

По рисунку видно, что при подачи в процесс флокулянтов сгущение в вертикальном сгустители происходит с разделением на зоны. Так, тонкодисперсные частицы, взаимодействуя с полимерным реагентом в зоне осаждения, образуют флоккулы и осаждаются по стенкам наклонных пластин под действием силы тяжести. В зоне сгущения происходит уплотнение сфлокулированных частиц и, после того, как материал набирает нужную плотность, осуществляется его разгрузка через выпускной патру-

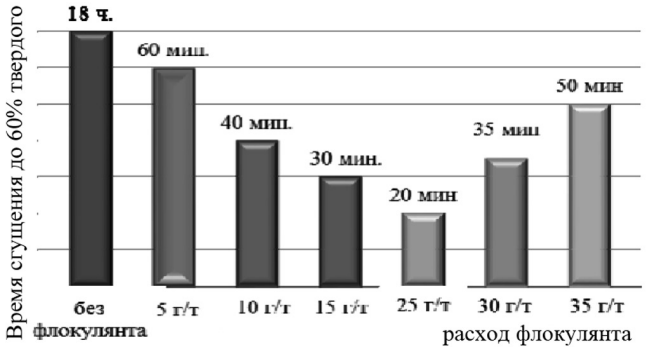

Рис. 9. Зависимости времени сгущения хвостов обогащения от расхода флокулянта

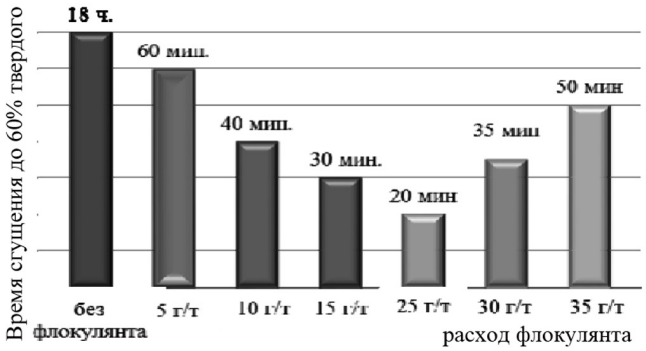

Рис. 10. Зависимость изменения отношения Т:Ж в сгущенном продукте от расхода флокулянта

бок. Работа вертикального сгустителя является эффективной в том случае, если тонкодисперсный материал не переходит из зоны осаждения в зону чистых сливов. Подача флокулянта обеспечивает максимальную чистоту сливов и значительно интенсифицирует процесс сгущения (рис. 8). Анализ проб указал на то, что концентрация взвешенных твердых частиц в сливе составляла 0,4 г/л, а цикл сгущения 100 л хвостов до плотности 60% твердого снизился до 20 минут.

Полученные результаты представлены в виде диаграммы, показывающей зависимость времени сгущения текущих хвостов обогащения до плотности 60% тв. от расхода флокулянта (рис. 9).

По построенной диаграмме видно, что наиболее эффективный расход флокулянта составил 25 г/т. При данном расходе обеспечивалась высокая чистота сливов и наибольшая плотность сгущенного продукта. Увеличение расхода флокулянта приводило к снижению плотности, что объясняется образованием весьма крупных хлопьеобразных флоккул, которые формировали очень пористый и рыхлый осадок. На рис. 10 показана зависимость изменения отношения твердое:жидкое (Т:Ж) в сгущенном продукте в зависимости от расхода флокулянта. По графику видно, что расход реагента равный 25 г/т является оптимальным и позволяет получить наибольшую плотность сгущенного материала.

Анализ полученных результатов, позволил сделать вывод о том, что разработанная конструкция вполне работоспособна. Подача флокулянта в процесс сгущения позволяет получить требуемые технологические характеристики сгущенного продукта и значительно интенсифицировать процесс сгущения тонкодисперсного материала.

В связи с этим, была предложена технологическая схема закладки выработанного пространства на основе хвостов обогащения, обезвоженных в подземных выработках. Принципиальная схема, представленная на рис. 11, включает в себя мероприятия по транспортированию текущих хвостов от обогатительной фабрики до подземного рудника, доставки до узла сгущения, процесс сгущения в подземном

Рис. 11. Принципиальная технологическая схема закладки выработанного пространства на основе хвостов обогащения, обезвоженных в подземном выработанном пространстве

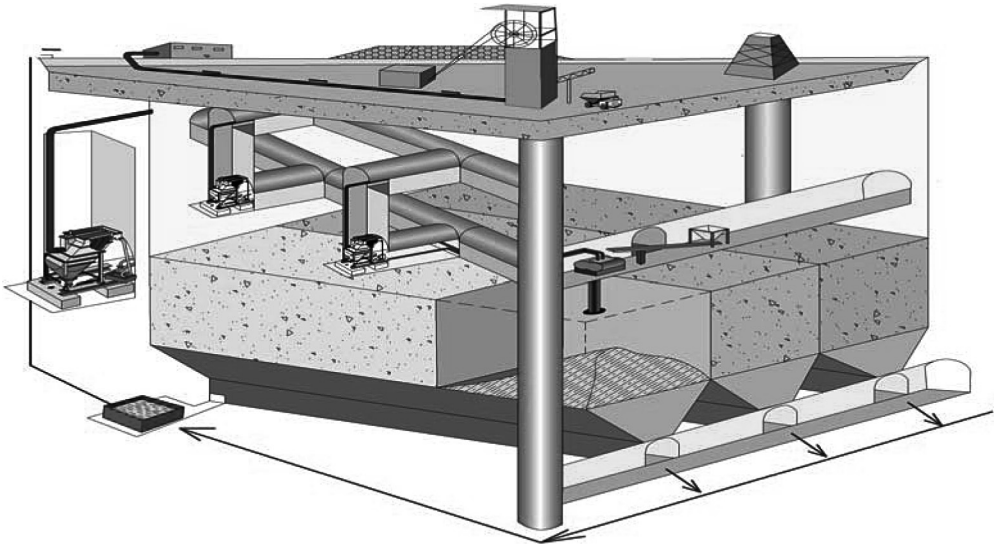

Рис. 12. Горнотехническая система закладки выработанного пространства на основе хвостов обогащения, обезвоженных в подземном выработанном пространстве

выработанном пространстве, разгрузку сгущенных хвостов, смешивание их со связующими компонентами в смесителях и транспортировку полученной смеси в закладочную выработку.

Для реализации предложенной технологии утилизации хвостов обогащения в выработанном подземном пространстве была предложена горнотехническая система, представленная на рис. 12.

Данный способ позволит транспортировать текущие хвосты обогащения на сотни километров, что в свою очередь решит проблему закладки выработанного пространства на основе хвостов обогащения для отдаленных маломощных месторождений.

1. *Трубецкой К.Н., Чантурия В.А., Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В.* Комплексное освоение месторождений и глубокая переработка минерального сырья. – М.: Наука, 2010. – 437 с.

2. *Олизаренко В.В., Шарипов Р.Х., Туркин И.С.* Закладка выработанных пространств рудников с применением вертикальных сгустителей / Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сб. науч. тр. – Екатеринбург: ГОУ ВПО «УГГУ», 2013. – С. 206–210.

3. *Закладочные* работы в шахтах. Справочник / Под ред. Д.М. Бронникова, М.Н. Цыгалова. – М.: Недра, 1989. – 400 с. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Рыльникова Марина Владимировна – доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник, *e*-mail: rylnikova@mail.ru,
ИПКОН РАН,
Ангелов Валерий Андреевич – кандидат технических наук, ведущий специалист, *e*-mail: Angelov.valerii@mail.ru, ОАО «УралГеоПроект»,
Туркин Иван Сергеевич – аспирант, магистр наук, *e*-mail: Sailor19@yandex.ru, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова.

UDC 622.771:622.273.2:5

BASIC PROCESS SCHEME AND THE COMPLEX EQUIPMENT FOR RECYCLING CURRENT TAILINGS IN A DEPLETED UNDERGROUND SPACE

Rylnikova M.V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Leading Researcher,
e-mail: rylnikova@mail.ru,
Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources Russian Academy of Sciences,
Angelov V.A., Candidate of Technical Sciences, Leading Specialist,
e-mail: Angelov.valerii@mail.ru, JSC «UralGeoProekt»,
Turkin I.S., Graduate Student, Master of Science,
e-mail: Sailor19@yandex.ru,
Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov.

The article analyzes the accumulation of waste ore processing at the surface and their impact on the environment. The experience of the waste storage domestic and foreign enterprises. Waste utilization technology of processing of ores in the goaf using vertical thickeners located in the underground space of the mine. The estimation of the effective vertical thickeners thickening fine ore processing waste.

Key words: stowing, ore mining waste, waste processing ores, backfilling underground complex, vertical thickener, flocculating adofoam, flowchart.

REFERENCES

1. Trubetskoi K.N., Chanturiya V.A., Kaplunov D.R., Ryl'nikova M.V. *Kompleksnoe osvoenie mestorozhdenii i glubokaya pererabotka mineral'nogo syr'ya* (Comprehensive mineral mining and advanced processing of mineral raw materials), Moscow, Nauka, 2010, 437 p.

2. Olizarenko V.V., Sharipov R.Kh., Turkin I.S. *Tekhnologicheskoe oborudovanie dlya gornoi i neftegazovoi promyshlennosti: sb. nauch. tr.* (Process equipment for mineral mining and petroleum industries: Collection of scientific papers), Ekaterinburg, GOU VPO «UGGU», 2013, pp. 206–210.

3. *Zakladochnye raboty v shakhtakh. Spravochnik*. Pod red. D.M. Bronnikova, M.N. Tsygalova (Backfilling in mines. Handbook. Bronnikov D.M., Tsygalova M.N. (Eds.)), Moscow, Nedra, 1989, 400 p.