

DOI: 10.26730/1999-4125-2018-2- 61-69

УДК 622.7:658.512:622.765:622.794

ИССЛЕДОВАНИЕ И ОБОСНОВАНИЕ ПОДХОДОВ К ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ СГУЩЕНИЯ УГОЛЬНЫХ ШЛАМОВ

RESEARCH AND JUSTIFICATION OF THE WAYS TO OPTIMIZE COAL SLUDGE THICKENING PROCESSES

Фролов Дмитрий Вадимович¹,
аспирант, e-mail: radhyori@mail.ru
Dmitry V. Frolov¹, post-graduate student

¹ Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

¹ T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28 street Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation

Аннотация: Если проанализировать существующие на данный момент результаты теоретических и практических исследований в области обезвоживания продуктов обогащения полезных ископаемых, можно отметить особое внимание, уделяемое применению синтетических полимерных флокулянтов для повышения эффективности разделения жидкой и твердой фаз. В последнее время внимание к факторам, влияющим на эффективность применения флокулянтов в процессах обезвоживания на обогатительных фабриках продолжает увеличиваться в связи с возрастающей потребностью в использовании флокулянтов. Эффективность применения флокулянтов в значительной степени зависит от времени года, химического состава воды, гранулометрического, фракционного и качественного составов шламов, в связи с чем потребность в изучении закономерностей протекания процесса флокуляции при изменении вышеперечисленных факторов как никогда высока. Целью авторов являлась разработка научно обоснованных приемов управления процессом флокуляционного кондиционирования для повышения эффективности технологии сгущения и обезвоживания отходов флотации углей. Авторами были проведены экспериментальные лабораторные и промышленные испытания для обоснования предложенных разработок. Итоги испытаний показали, что учитывание взаимосвязей свойств применяемого в процессе флокулянта и обрабатываемой угольной пульпы позволяет улучшить эффективность протекания процесса.

Abstract: If we try to analyze the existing results of theoretical and practical studies concerning dewatering of processed mineral resources, we can note the special attention paid to the usage of synthetic polymeric flocculants to enhance the efficiency of the liquid and solid phases separation. Lately the attention to all the factors influencing the efficiency of the flocculant usage in dewatering processes at the coal preparation plants is continuing to grow due to the increasing demand in flocculants. The efficiency of the flocculant usage depends greatly on the season, chemical composition of water, grain-size distribution, fractional and quality composition of coal sludge, hence the need in research of the consistent patterns during the flocculation process is extremely high. The authors' goal was the development of scientifically justified methods to control the flocculation processes. The authors have conducted a series of laboratory and industrial tests to support the proposed methods. The results have shown that, by taking into account the correlation between the flocculant properties and the properties of processed coal slurry, it is possible to improve the process efficiency.

Ключевые слова: обогащение, флокулянты, обезвоживание, сгущение, концентрат, отходы флотации.

Key words: coal processing, flocculants, dewatering, thickening, clean coal, flotation tailings.

При анализе представленных в научно-технической литературе практических и теоретических исследований, касающихся темы обезвоживания продуктов обогащения полезных ископаемых, можно заметить, что наиболее действенным способом повышения эффективности процес-

сов разделения твердой и жидкой фаз (осветления, сгущения, фильтрования) является применение синтетических полимерных флокулянтов (далее - флокулянтов). В современной практике флокулянты получают все более широкое применение в указанных операциях на углеобогажительных фаб-

риках (УОФ) России и за рубежом [1-5]. Наибольшего количества флокулянтов требуют операции сгущения и обезвоживания тонкодисперсных шламов или отходов флотации в специальных аппаратах различного конструктивного исполнения [6, 7].

На процесс флокуляции влияет большое количество разнообразных факторов, а сам процесс носит системный характер [8].

Подсистема «Флокулянт». Принципиальное значение имеют следующие факторы: ионогенность флокулянта (неионогенный, анионоактивный, катионоактивный), молекулярная масса флокулянта (низкомолекулярный, средномолекулярный, высокомолекулярный) и непосредственно раствор флокулянта (концентрация, способ приготовления, продолжительность, условия хранения, величина pH).

Подсистема «Суспензия». Принципиальное значение имеют такие факторы как: плотность, удельная поверхность, дзетта-потенциал, вещественный состав, степень гидратированности (для твердой фазы суспензии), а также солевой состав, величина pH, температура, электропроводность, жесткость (для жидкой фазы).

Указанные факторы подсистем влияют на условия взаимодействия флокулянта с суспензией (дозировка, точка подачи, способ подачи, время перемешивания, интенсивность перемешивания). Наиболее важным представляется комплекс параметров, определяющих режим флокуляционного кондиционирования, т.е. операции, заключающейся в добавлении к суспензии определенного количества флокулянта (флокулянтов) при определенных условиях с целью придания суспензии требуемых свойств, исходя из назначения процесса разделения и его режимных параметров [9, 10].

Флокуляционное кондиционирование включает следующие этапы: выбор флокулянтов; приготовление растворов флокулянтов; дозирование растворов флокулянтов; перемешивание растворов флокулянтов с суспензией; транспортирование флокулированной суспензии к аппарату.

Все указанные этапы имеют важное значение, однако наибольший теоретический и практический интерес вызывают вопросы, связанные с выбором оптимального флокулянта в зависимости от состава и свойств исходного обогащаемого сырья [11, 12, 13].

Эффективность работы флокулянта напрямую зависит от целого ряда свойств сгущаемой пульпы: гранулометрического состава частиц, содержания глинистых частиц, марки угля. Вследствие этого, для каждой углеобогащательной фабрики необходим селективный подбор флокулянта, способствующего оптимизации технологических процессов разделения и сгущения шламов и пульпы [14]. Этот подбор невозможно точно произвести в лабораторных условиях – необходимы промышленные испытания непосредственно на фабрике.

Необходимо отметить, что незначительные изменения свойств исходного сырья (угля) для дальнейшего обогащения на фабрике могут привести к ухудшению работы флокулянта, что повлечет за собой несоблюдение установленных оптимальных параметров технологического процесса, и, соответственно, снижению его эффективности.

Нами были проведены исследования с целью разработки научно обоснованных приемов управления процессом флокуляционного кондиционирования для повышения эффективности технологии сгущения и обезвоживания отходов флотации углей (угольных шламов) при использовании оборудования, применяемого на УОФ (на примере ОФ «Анжерская»). Были разработаны предложения по оптимальному практическому применению синтетических полимерных флокулянтов определенных марок в процессах сгущения и обезвоживания с учетом изменения свойств и состава исходного сырья, поступающего на УОФ, после чего была проведена экспериментальная проверка этих разработок.

Экспериментальные лабораторные исследования проводились на основе постановки серии параллельных опытов, предполагающих следующие этапы: ситовый анализ исходных проб, предварительное тестирование флокулянтов, определение скорости осаждения угольно-глинистых частиц - отходов флотации в процессе моделирования их сгущения в радиальном сгустителе, определение плотности осадка и содержания твердого в сливе [15]. Исследования проводились в различные периоды работы фабрики ОФ «Анжерская» (2017 год) при различных технологических показателях процесса флотации.

Экспериментальная часть

В качестве примера рассмотрены лабораторные исследования эффективности работы флокулянтов для сгущения отходов флотации на ОФ «Анжерская» при следующих исходных параметрах: Шахта Анжерская-Южная. Угли марки ОС (отощенный спекающийся). Зольность пробы 21,5%. Содержание твердого в отходах флотации - 74,6 г/л.

Для определения группы флокулянтов, наиболее эффективно работающих на исследуемом питании радиального сгустителя (отходов флотации), проводилась предварительная оценка работы флокулянтов (скрининг-тест). Расход каждого сравниваемого флокулянта составил 53,5 г/т.

Результаты ситового анализа исходной пробы представлены в таблице 1.

По итогам скрининг-теста, нами были выбраны 5 флокулянтов: Магнафлок 155, Магнафлок 5250, Магнафлок 336, Магнафлок 355 и Магнафлок DP-ОМС-1047. Выбранные для дальнейших исследований полимеры показали наименьшее время осаждения, наиболее чистый слив и крупные устойчивые флокулы. Величина времени осаждения (скорости осаждения) влияет на произ-

водительность радиального сгустителя, кроме того, при высокой скорости не происходит выноса твёрдых частиц в кольцевой жёлоб. Мутность

слива позволяет прогнозировать чистоту слива радиального сгустителя, а крупность и устойчивость флокул показывает устойчивость образо-

Таблица 1

Класс крупности	Выход, г	Выход, %	Зольность, %
+0,5	2,8	7,5	4,0
-0,5+0,250	7,2	19,3	5,3
-0,250+0,125	9,5	25,5	9,6
-0,125+0,063	5,3	14,2	14,7
-0,063	12,5	33,5	46,7
Итого:	37,3	100	21,5

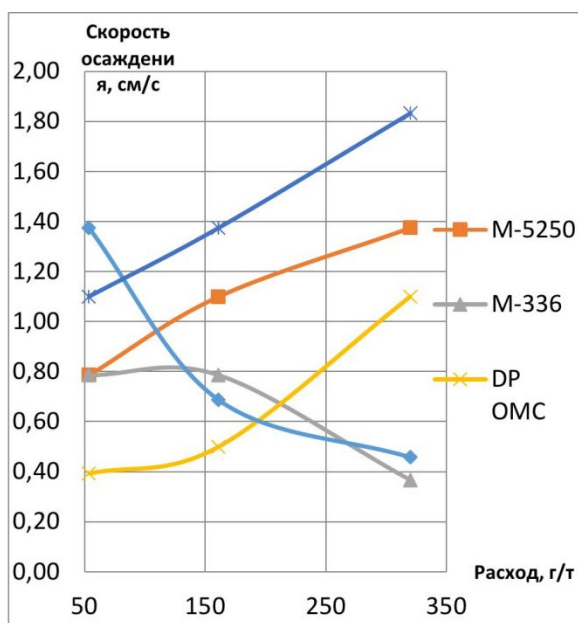


Рис. 1. - Зависимость скорости оседания твердых частиц отходов флотации от расхода флокулянта (опыт 1)

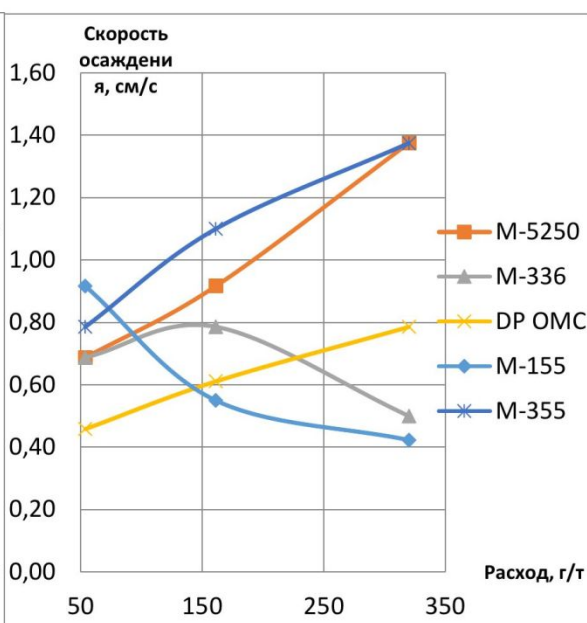


Рис. 2. - Зависимость скорости оседания твердых частиц отходов флотации от расхода флокулянта (опыт 2)

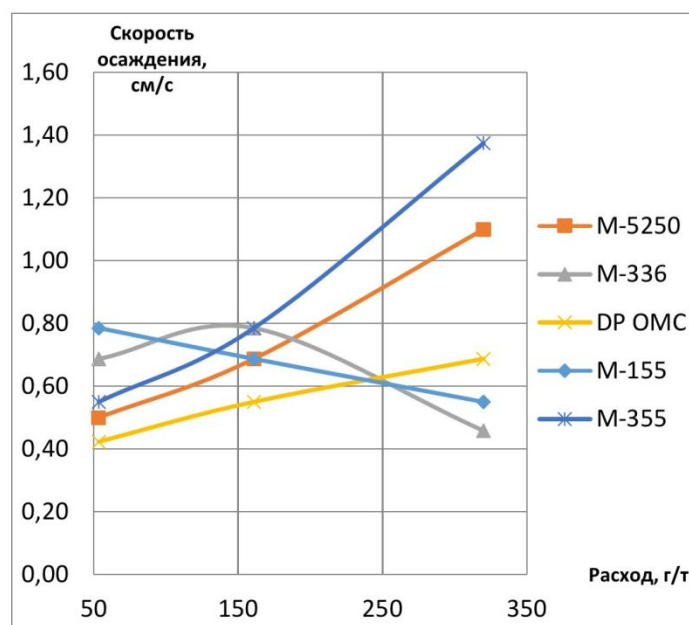


Рис.3 - Зависимость скорости оседания твердых частиц отходов флотации от расхода флокулянта (опыт 3)

ванных агрегатов к динамическим нагрузкам, что влияет и на показатели процесса сгущения, и на расход полимеров.

Определение скорости осаждения отходов флотации проводилось в мерных цилиндрах объемом 500 мл (параллельно по три опыта с тремя различными расходами флокулянтов, а именно - 53,5; 161; 320 г/т). Результаты исследований и выявленные зависимости представлены на рисунках 1-3.

ках 1-3.

Определение плотности осадка и содержания твердого в сливе проводили в мерных цилиндрах объемом 500 мл (параллельно по три опыта с тремя различными расходами флокулянтов, а именно - 53,5; 161; 320 г/т). Результаты экспериментальных исследований представлены на рисунках 4-9.

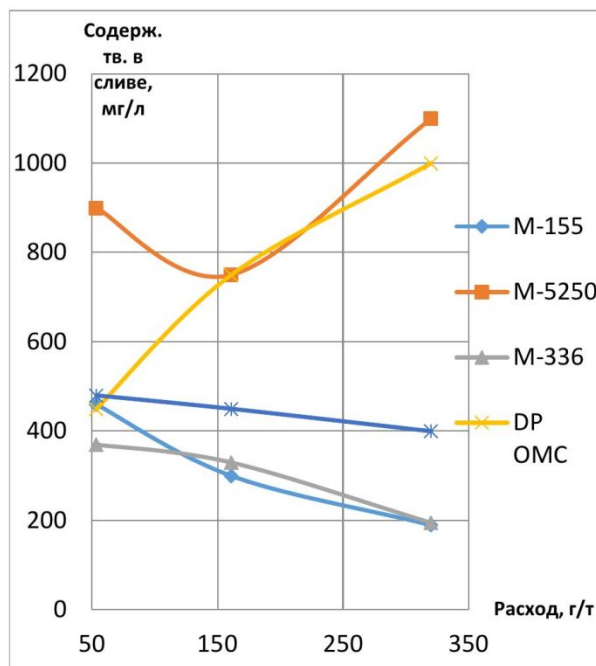


Рис. 4. - Зависимость содержания твердого в сливе от расхода флокулянта (опыт 1)

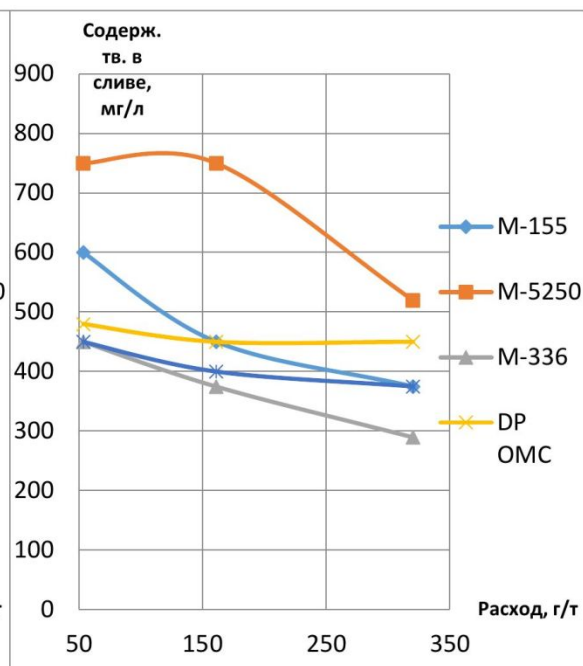


Рис. 5 - Зависимость содержания твердого в сливе от расхода флокулянта (опыт 2)

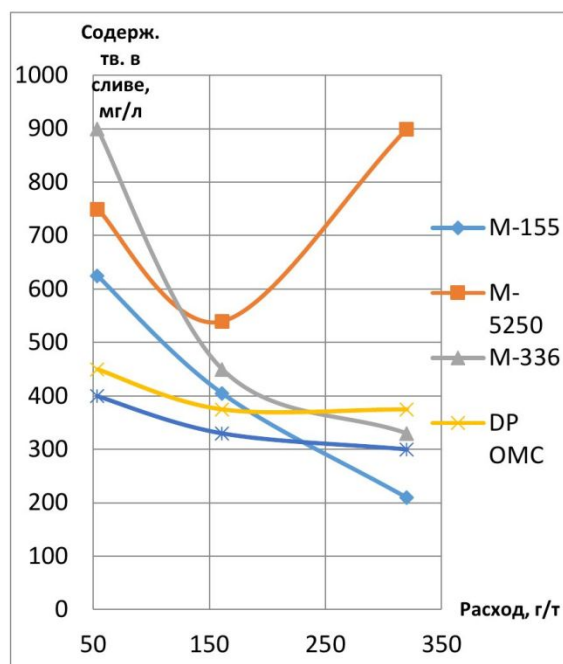


Рис. 6 - Зависимость содержания твердого в сливе от расхода флокулянта (опыт 3)

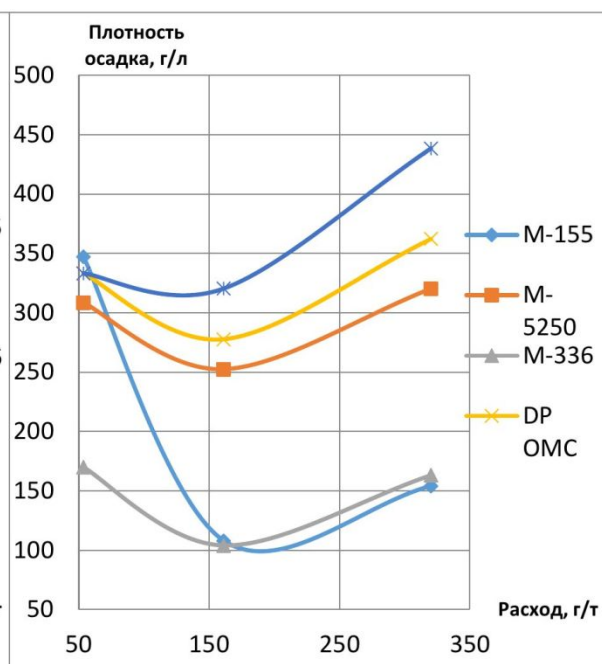


Рис. 7 - Зависимость плотности осадка от расхода флокулянта (опыт 3)

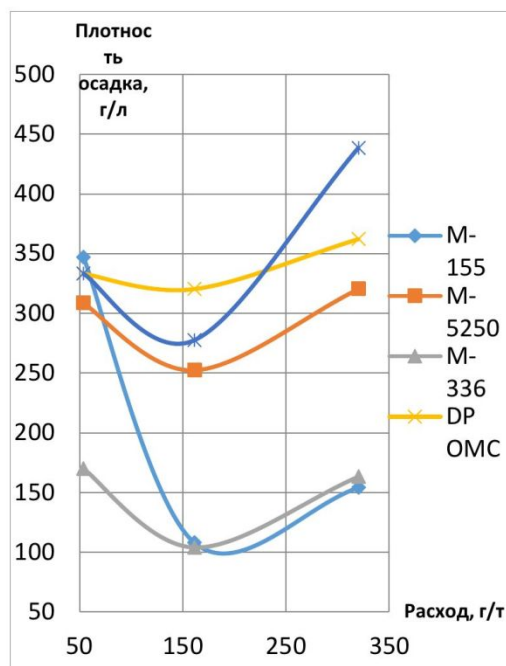


Рис. 8.- Зависимость плотности осадка от расхода флокулянта (опыт 1)

Шахта Анжерская-Южная является стабильным поставщиком рядового угля на ОФ «Анжерская». В большинстве случаев угли, поступающие на фабрику, являются окисленными и плохо подвергаются процессу флотации. Как показывают представленные экспериментальные данные, отходы флотации являются низкозольными и, кроме того, имеют высокое содержание твёрдого, что осложняет работу флокулянтов и требует повышения их расходов (дозировки).

Результаты представленных исследований свидетельствуют о достаточно стабильной работе флокулянта Магнафлок 355, что в последствии требует промышленной апробации и определения сходимости показателей работы флокулянтов в лабораторных и опытно-промышленных условиях.

В качестве следующего этапа определения эффективности работы флокулянта Магнафлок 355 были проведены опытно-промышленные испытания на ОФ «Анжерская».

Опытно-промышленные испытания. Результаты и рекомендации

Водно-шламовая схема флотации и последующего обезвоживания продуктов флотации на ОФ «Анжерская» выглядит следующим образом:

- на процесс флотации поступают сливы гидроциклонов 8ГЦЧ360.4. Флотация на фабрике происходит в две стадии;
- первая стадия, флотация сливов гидроциклонов происходит в пневматической машине К-FV35NS, производства компании MBE, Германия;
- вторая стадия, флотация хвостов пневматической машины в механических флотомашин

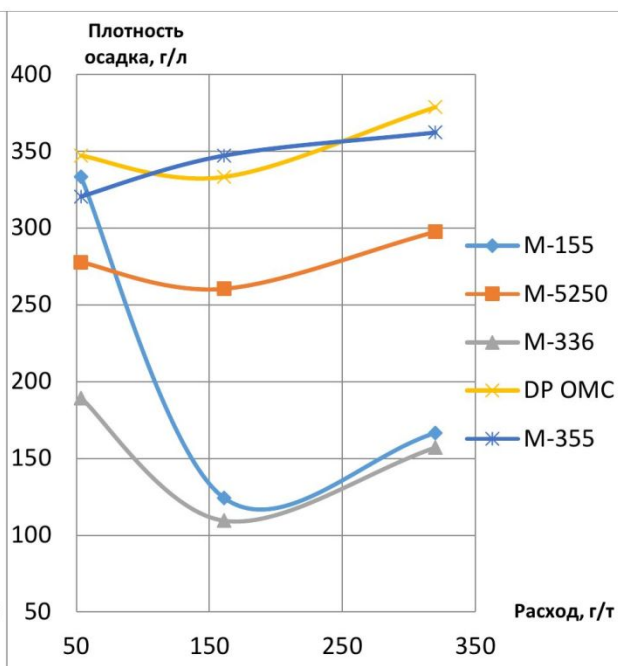


Рис. 9 - Зависимость плотности осадка от расхода флокулянта (опыт 2)

МФУ-12;

- флотационный концентрат обезвоживается на дисковых вакуум-фильтрах ANDRITZ 120/10, производства компании Andritz, Австрия;

- отходы флотации направляются на сгущение в радиальном сгустителе с центральным приводом D – 12 м;

- обезвоживание сгущённых отходов флотации происходит на ленточных фильтр-прессах CPF 2200, производства компании Andritz, Австрия.

Полимерные флокулянты в соответствии с технологическим регламентом применяются в процессах сгущения отходов флотации и их последующего обезвоживания (анионный полимер – Магнафлок 5250; катионный полимер – Магнафлок 380), и в процессе обезвоживания флотационного концентрата, высокоанионный полимер – Flopam 970.

Расход флокулянтов, в зависимости от исходного сырья колеблется суммарно на процессах:

- сгущения отходов флотации, 60 - 200 г/т;
- обезвоживания отходов флотации, 80 – 150 г/т;
- обезвоживания флотационного концентрата, 10 – 50 г/т.

На фабрике эксплуатируется 2 установки для подачи флокулянтов в процесс сгущения и обезвоживания (анионного и катионного флокулянта). Для обезвоживания флотационного концентрата на ОФ «Анжерской» используется отдельная установка приготовления реагентов.

Таблица 2

Дата	06.01.18					07.01.18			
Время	16-00	18-00	20-00	22-00	24-00	2-00	4-00	6-00	8-00
Расход флокулянта, г/т	40	40	40	40	40	Остановка нагрузки на сгуститель	40	40	40
Слив, мг/л	900	850	870	920	1000	-	910	1100	930
Время осаждения, с	50	57	52	48	46	-	50	40	54
Высота осадка, мм	80	82	81	79	77	-	79	75	80
Уровень пены, баллы	4	3	3	4	4	-	4	4	4

Таблица 3

Дата	07.01.18								08.01
Время	10-00	12-00	14-00	16-00	18-00	20-00	22-00	24-00	2-00
Расход флокулянта, г/т	40	Остановка нагрузки на сгуститель	40	40	40	35	35	35	Остановка нагрузки на сгуститель
Слив, мг/л	700	-	600	650	640	720	740	730	-
Время осаждения, с	35	-	32	34	32	35	37	35	-
Высота осадка, мм	70	-	72	74	71	75	77	75	-
Уровень пены, баллы	3	-	3	3	2	2	2	2	-

Задачей опытно-промышленных испытаний явилось определение эффективности работы анионного флокулянта Магнафлок 355. Процесс обезвоживания отходов флотации не рассматривался в качестве исследуемого, но учитывалась стабильная работа оборудования и отсутствие простоев.

Применение катионного флокулянта Магнафлок 380 не подвергалось корректировке, его расход оставался постоянным.

Схема подачи флокулянтов на процесс сгущения выглядит следующим образом:

Первым подаётся анионный флокулянт, рабочая концентрация 0,1%. Подача осуществляется в загрузочный жёлоб сгустителя, дробно, в две точки. Катионный флокулянт подаётся вторым, непосредственно перед загрузкой пульпы в стакан радиального сгустителя.

В процессе проведения контролировались следующие параметры:

- расход анионного флокулянта
- чистота слива радиального сгустителя (определялась с помощью мутномера, показывающего содержание взвешенных частиц, мг/л);
- время осаждения частиц (определялась с по-

мощью специальной стеклянной трубки, опускаемой в стакан радиального сгустителя с отмеченным интервалом в 30 см, с);

- высота осадка (определялась с помощью специальной стеклянной трубки, опускаемой в стакан радиального сгустителя).

Визуально определялся уровень флотационной пены на поверхности радиального сгустителя в баллах (1-минимальный, 5-максимальный). Этот показатель помогает понять, насколько флокулянт эффективен не только для сгущения глинистых частиц, но и для сгущения тонких угольных частиц.

В процессе испытаний оценивался эффективный диапазон работы флокулянта, т.к. при изменениях в количественных и качественных показателях сырья, показатель стабильности работы флокулянта является очень важным.

Применение катионного флокулянта Магнафлок 380 не корректировалось, расход его оставался неизменным – 30 г/т. Результаты оценки эффективности работы сгустителя при использовании в процессе анионного флокулянта Магнафлок 5250 представлены в таблице 2.

Таблица 4

Дата	08.01.2018								
Время	4-00	6-00	8-00	10-00	12-00	14-00	16-00	18-00	20-00
Расход флокулянта, г/т	35	35	35	Остановка нагрузки на сгуститель	35	35	35	35	Остановка нагрузки на сгуститель
Слив, мг/л	680	720	700	-	700	710	720	700	-
Время осаждения, с	35	35	38	-	36	35	36	34	-
Высота осадка, мм	75	74	75	-	74	76	75	75	-
Уровень пены, баллы	2	2	2	-	2	2	2	2	-

Таблица 5

Дата	08.01.2018							
Время	1-00	3-00	5-00	7-00	9-00	11-00	13-00	15-00
Расход флокулянта, г/т	35	35	35	40	40	Остановка нагрузки на сгуститель	40	40
Слив, мг/л	1500	1600	1600	950	920	-	850	900
Время осаждения, с	60	63	62	53	55	-	55	54
Высота осадка, мм	82	81	85	80	79	-	79	77
Уровень пены, баллы	2	2	3	3	3	-	3	3

В 10-00 в технологический процесс был подан Магнафлок 355 вместо Магнафлока 5250. Результаты эффективности работы сгустителя при замене флокулянта Магнафлок 5250 на Магнафлок 355 представлены в таблице 3.

В процессе испытаний продолжали подавать анионный флокулянт Магнафлок 355 в процесс. Результаты испытаний представлены в таблице 4.

С 22-30 в процессе сгущения применяется флокулянт Магнафлок 5250. Результаты испытаний представлены в таблице 5.

Таким образом, проведенные опытно-промышленные испытания позволили сделать следующие выводы:

При переходе на анионный флокулянт Магнафлок 355 отмечено значительное улучшение показателей процесса сгущения. Наблюдается снижение содержания взвешенных частиц в сливе радиального сгустителя. В случае подачи в процесс флокулянта Магнафлок 5250 содержание взвешенных частиц в сливе составляло 900 – 1000 мг/л, то при переходе на Магнафлок 355 оно составило 600 – 700 г/л. Основной причиной подобного снижения, вероятно, является то, что Магнафлок 355 имеет меньшую молекулярную массу по сравнению с флокулянтом Магнафлок 5250,

что позволяет ему быстрее распределяться в пульпе и образовывать флоккулы. Этот факт представляется наиболее значимым именно для процессов сгущения на на ОФ «Анжерская», так как небольшие размеры установленного сгустителя (диаметр 12 м) определяют повышенные требования к работе полимера. Улучшение показателей процесса сгущения подтверждается и показателями времени осаждения; при использовании флокулянта Магнафлок 355 этот показатель значительно меньше.

В процессе испытаний отмечено уменьшение объема флотационной пены на поверхности радиального сгустителя. Это объясняется тем, что Магнафлок 355 имеет меньший анионный заряд, чем Магнафлок 5250. Анионные флокулянты с низкой анионностью более селективно работают с угольными частицами, при том что флотационная пена является ультратонкими угольными частицами, которые из-за минимальных размеров не смогли профлотироваться непосредственно во флотомашине. Немаловажным показателем при колебаниях зольности сырья является и широкий диапазон работы того или иного полимера. В большинстве случаев, высокомолекулярные полимеры имеют узкий диапазон показателей эф-

фективной работы. Магнафлок 355 за счёт средней молекулярной массы имеет широкий диапазон значений эффективной работы, что подтверждено результатами промышленных испытаний.

Как показывает практика ведения технологических процессов на углеобогатительных фабриках, показатель плотности осадка не имеет большого практического значения при сгущении угольных шламов. Как правило, он примерно одинаков при использовании различных полимеров в качестве флокулянтов, или отличается незначи-

тельно. Однако, разбавленный осадок приведёт к перерасходу полимера на следующем процессе – обезвоживании на ленточных фильтр-прессах. При снижении расхода флокулянта Магнафлок 355 на 10%, показатели процесса сгущения получились выше, чем при работе Магнафлок 5250. Таким образом, расход анионного флокулянта может быть снижен на 10-15% без ухудшения эффективности процесса сгущения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антипенко, Л.А. Технологические регламенты обогатительных фабрик Кузнецкого бассейна. – Прокопьевск: СибНИИ Углеобогащение, 2002. – 427 с.
2. Борц, М.А. Флокуляция угольных и минеральных суспензий: учебное пособие. / М.А. Борц, Ю.Н. Бочков, А.Н. Рябченко. – М.: ИПК Минуглепрома СССР, 1990. – 87 с.
3. Бочков, Ю.Н. Совершенствование оборудования для замкнутых водно-шламовых систем углеобогатительных фабрик / Ю.Н. Бочков, Б.И. Линев // Кокс и химия. – 1998. – №10. – С.34-36.
4. Glover, S.M. Polymer Molecular Weight and Mixing Effects on Floc Compressibility and Filterability / S.M. Glover, Y.D. Yan, G.J. Jameson and S. Biggs // VI World Congress of Chemical Engineering. Melbourne. – 2001.
5. Панфилов, П.Ф. Повышение эффективности флокуляционного кондиционирования суспензий отходов флотации углей для интенсификации процесса их обезвоживания на ленточных фильтр-прессах: дис... канд. техн. наук: 25.00.13 / П.Ф. Панфилов. – Люберцы, 2005. – 157 с.
6. The Usage of flocculants for the Processes of Thickening and Dewatering of a thin coal sludges Frolov V.S., Merkusheva L.N., Frolov D.V., Sidorov A.V. // XVIII International Coal Preparation Congress, Saint-Petersburg Mining University Volume 2, 28 June – 01 July 2016 Saint-Petersburg, Russia.
7. Frolov V.S. Application of Magnafloc Flocculants in the Process of Thickening and Dewatering at Coal Preparation Plants // XVII. International COAL preparation congress. 1-6 october 2013. – Istanbul. Turkey. P. 449-452.
8. Gregory, J. The Effect of Polymers on Dispersion Properties / John Gregory // edited by Th. F. Tadros. – London: Academic Press, 1982. – P.301
9. Гольберг Г. Ю. Физико-химические проблемы флокуляции тонкодисперсных продуктов обогащения углей // ГИАБ, №1, 2006.
10. Сгущение угольных шламов различных классов крупности/Фролов В.С., Меркушева Л.Н., Сидоров А.В., Фролов Д.В. // IX Конгресс обогатителей стран СНГ. Сборник материалов. Том 2. – М.: МИСиС, 2013. – с.620– 621.
11. Счастливцев Е.Л., Юкина Н.И. Совершенствование замкнутого цикла использования технологической воды в процессе обогащения угля с помощью эффективного модифицированного флокулянта // ГИАБ, №12, 2008.
12. Субботин В.В., Петухов В.Н. Исследование влияния эффективности действия флокулянтов при обогащении угольного шлама // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова, №2, 2014.
13. Петухов В.Н., Погуца С.С. Исследование влияния флокулянтов различного элементного состава и строения на эффективность сгущения угольных пульп // ТиТМП, №2 (15), 2014.
14. Дебердеев И. Х., Линёв Б. И., Давыдов М. В., Глухих С. Г. Повышение эффективности разделения тонкодисперсных продуктов при обогащении углей // ГИАБ, №10, 2006.
15. Фролов Д.В. The reduction of the consequences of coal preparation facilities exploitation by optimizing the polymeric flocculants efficiency rate in the processes of coal sludge dewatering // Экологические проблемы промышленно развитых и ресурсодобывающих регионов: пути решения: Сборник трудов II Всероссийской молодежной научно-практической конференции. [Электронный ресурс] / Под ред.: С.Г. Костюк [и др.]. – Кемерово : КузГТУ, 2017

REFERENCES

1. Antipenko, L.A. Tekhnologicheskie reglamenti obogatitel'nyh fabrik Kuznec-kogo bassejna. – Prokop'evsk: SibNII Ugleobogashchenie, 2002. – 427 s. (rus)
2. Borc, M.A. Flokulyaciya ugol'nyh i mineral'nyh suspenzij: uchebnoe posobie. / M.A. Borc, YU.N. Bochkov, A.N. Ryabchenko. – M.: IPK Minugleproma SSSR, 1990. – 87 s. (rus)
3. Bochkov, YU.N. Sovershenstvovanie oborudovaniya dlya zamknutyh vodno-shlamovyh sistem ugleobogatitel'nyh fabrik / YU.N. Bochkov, B.I. Linev // Koks i himiya. – 1998. – №10. – S.34-36. (rus)
4. Glover, S.M. Polymer Molecular Weight and Mixing Effects on Floc Compressibility and Filterability / S.M. Glover, Y.D. Yan, G.J. Jameson and S. Biggs // VI World Congress of Chemical Engineering. Melbourne. – 2001.
5. Panfilov, P.F. Povyshenie ehffektivnosti flokulyacionnogo kondicionirovaniya suspenzij othodov flotacii uglej dlya intensivatsii processa ih obezvozhivaniya na lentochnyh fil'tr-pressah: dis....kand. tekhn.nauk: 25.00.13 / P.F. Panfilov. – Lyubercy, 2005. – 157 s. (rus)
6. The Usage of flocculants for the Processes of Thickening and Dewatering of a thin coal sludges Frolov V.S., Merkusheva L.N., Frolov D.V., Sidorov A.V. // XVIII International Coal Preparation Congress, Saint-Petersburg Mining University Volume 2, 28 June – 01 July 2016 Saint-Petersburg, Russia.
7. Frolov V.S. Application of Magnafloc Flocculants in the Process of Thickening and Dewatering at Coal Preparation Plants // XVII. International COAL preparation congress. 1-6 october 2013. – Istanbul. Turkey. P. 449-452.
8. Gregory, J. The Effect of Polymers on Dispersion Properties / John Gregory // edited by Th. F. Tadros. – London: Academic Press, 1982. – P.301
9. Gol'berg G. Y. Fiziko-himicheskie problemy flokulyacii tonkodispersnyh produktov obogashcheniya uglej // GIAB, №1, 2006. (rus)
10. Sgushchenie ugol'nyh shlamov razlichnyh klassov krupnosti / Frolov V.S., Merkusheva L.N., Sidorov A.V., Frolov D.V. // IX Kongress obogatitelej stran SNG. Sbornik materialov. Tom 2. – M.: MISiS, 2013. – p.620– 621. (rus)
11. Schastlivcev E.L., Yukina N.I. Sovershenstvovanie zamknutogo cikla ispol'zovaniya tekhnologicheskoy vody v processe obogashcheniya uglya s pomoshch'yu ehffektivnogo modi-ficirovannogo flokulyanta // GIAB, №12, 2008. (rus)
12. Subbotin V.V., Petuhov V.N. Issledovanie vliyaniya ehffektivnosti dejstviya flokulyantov pri obogashchenii ugol'nogo shlama // Vestnik MGTU im. G.I. Nosova, №2, 2014. (rus)
13. Petuhov V.N., Poguca S.S. Issledovanie vliyaniya flokulyantov razlichnogo ehlementnogo sostava i stroeniya na ehffektivnost' sgushcheniya ugol'nyh pul'p // TiTMP, №2 (15), 2014. (rus)
14. Deberdeev I. H., Linyov B. I., Davydov M. V., Gluhih S. G. Povyshenie ehffektivnosti razdeleniya tonkodispersnyh produktov pri obogashchenii uglej // GIAB, №10, 2006. (rus)
15. Frolov D.V. The reduction of the consequences of coal preparation facilities exploitation by optimizing the polymeric flocculants efficiency rate in the processes of coal sludge dewatering // Ekologicheskie problemy promyshlenno razvityh i resursodobyvayushchih regionov: puti resheniya: Sbornik trudov II Vserossijskoj molodezhnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. [Elektronnyj resurs] / Pod red.: S.G. Kostyuk [i dr.]. – Kemerovo : KuzGTU, 2017

Поступило в редакцию 23.03.2018

Received 23.03.2018