

**А.А. Лавриненко, Г.Ю. Гольберг,
И.В. Кунилова, М.М. Раджабов,
В.Н. Дормидонтова, Н.Ю. Свечникова,
В.И. Басарыгин, М.В. Басарыгин**

СГУЩЕНИЕ ОТХОДОВ ФЛОТАЦИИ УГЛЕЙ РАЗЛИЧНОГО СОСТАВА С ПРИМЕНЕНИЕМ АНИОНОАКТИВНЫХ И КАТИОНОАКТИВНЫХ ФЛОКУЛЯНТОВ*

Представлены экспериментальные данные по флокуляции отходов флотации углей анионоактивными и катионоактивными полимера. Исследовали исходную суспензию с зольностью твердой фазы 72,6%, а также искусственно составленные смеси со значениями зольности 69,0 и 76,0%. Выбрано сочетание флокулянтов: анионоактивного и катионоактивного, обеспечивающее требуемую скорость осаждения твердой фазы с меньшим расходом по сравнению с базовым. Установлен характер зависимости скорости осаждения твердой фазы от расхода флокулянтов при изменении ее зольности в пределах от 69,0 до 76,0% и содержания твердой фазы от 15 до 60 г/л.

Ключевые слова: флокуляция, сгущение, отходы флотации углей, анионоактивные флокулянты, катионоактивные флокулянты, скорость осаждения.

Одной из важнейших задач по повышению экономической и экологической эффективности углеобогащительного производства является интенсификация процессов разделения твердой и жидкой фаз продуктов обогащения углей для возврата в систему водоснабжения предприятий чистой воды и создания благоприятных условий для дальнейшей обработки обезвоженной твердой фазы. С экологической точки зрения, создание и

* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 14-37-00050.

обеспечение устойчивого функционирования замкнутых водооборотных циклов уменьшает нагрузку на среду обитания человека и позволяет рационально использовать воду, являющуюся ценным природным ресурсом [1]. Для этого на обогатительных фабриках (ОФ) осуществляют комплекс технологических мероприятий, из которых наиболее существенное значение имеет применение флокулянтов. В результате их действия на суспензии продуктов обогащения углей частицы твердой фазы агрегируются за счет образования мостиковых связей макромолекулами полимера. Это, в свою очередь, существенно ускоряет процессы разделения суспензий седиментацией, фильтрованием, центрифугированием и позволяет получать очищенную воду, пригодную для направления в линию оборотного водоснабжения ОФ.

Повышение эффективности разделительных процессов с применением флокулянтов достигается путем совершенствования реагентного режима, то есть выбора марок флокулянтов и их расходов, наиболее полно отвечающих характеристикам твердой фазы суспензий и требованиям к продуктам разделения. Наибольшую трудность представляет флокуляция отходов флотации, что обусловлено содержанием в их твердой фазе значительного количества тонкодисперсных глинистых частиц. В последние годы получает распространение технология сгущения отходов флотации с применением комбинации флокулянтов: как правило, к суспензии добавляют последовательно анионоактивный и катионоактивный полимеры [2–5]. В результате образуются флокулы второго и более высоких порядков [6], и это обеспечивает увеличение скорости осаждения твердой фазы. Также достигается высокая чистота слива. Этот эффект обусловлен, по-видимому, тем, что катионоактивный полимер компенсирует поверхностный заряд отрицательно заряженных (в нейтральной среде) частиц твердой фазы, в том числе субмикронных, и это создает условия для их самопроизвольного агрегирования и участия в образовании флокул по ортокинетическому варианту. Таким образом, сгущение отходов флотации углей с применением комбинации анионоактивного и катионоактивного флокулянтов представляется перспективным направлением развития водно-шламовых технологий углеобогажительных фабрик. По нашему мнению, наибольший интерес представляет определение реагентного режима, обеспечивающего требуемые показатели разделения суспензий отходов флотации в условиях изменчивости содержания твердой фазы и ее зольности.

В настоящей работе рассмотрена операция сгущения отходов флотации коксующихся углей на ЦОФ «Беловская». Существующая схема предусматривает сгущение исходной суспензии отходов флотации (объемный расход – до 700 м³/ч, содержание твердой фазы 15–60 г/л, зольность в пределах от 60 до 80%) в радиальном сгустителе. На этой операции применяют флокулянты: среднемолекулярный анионоактивный со сравнительно высокой долей отрицательно заряженных групп и низкомолекулярный катионоактивный с высокой долей положительно заряженных групп. Это сочетание рассматривается в настоящей работе как базовое. Концентрация рабочих растворов флокулянтов составляет 0,35–0,37%; расход каждого из них – до 100 г/т. Скорость осаждения твердой фазы, рассчитанная исходя из удельной нагрузки (v) на радиальный сгуститель, должна составлять не менее 13 м/ч (0,0036 м/с). Сведения по реагентному режиму сгущения дают основания полагать, что указанное значение v может быть достигнуто применением флокулянтов, имеющих более высокую молекулярную массу по сравнению с базовым сочетанием, при меньшем суммарном расходе. Кроме того, представляется целесообразным получить данные по расходам флокулянтов при различных значениях зольности твердой фазы и ее содержания в суспензии.

Цель настоящей работы заключается в определении реагентного режима флокуляции отходов флотации, обеспечивающего указанную скорость осаждения твердой фазы различного состава.

Исследовали суспензию отходов флотации коксующихся углей, отобранную на ЦОФ «Беловская» непосредственно перед операцией сгущения в радиальном сгустителе. Содержание твердой фазы в суспензии составило 15 г/л, ее зольность – 72,6%. Из этой суспензии путем седиментационного разделения твердой фазы были получены два состава:

- состав I с зольностью твердой фазы 69%; содержание твердой фазы составляло 15 и 60 г/л;
- состав II с зольностью твердой фазы 76%; содержание твердой фазы – 15 и 30 г/л.

Распределение частиц по крупности определяли методом лазерной дифракции на приборе «Analyzette 22». Кривые распределения представлены на рис. 1.

На рис. 1 видно, что в твердой фазе исходных отходов флотации содержится порядка 10% (по массе) частиц крупностью -1 мкм и около 77% частиц крупностью -10 мкм. Наибольшая доля соответствует крупности 4–5 мкм. Весьма значительное ко-

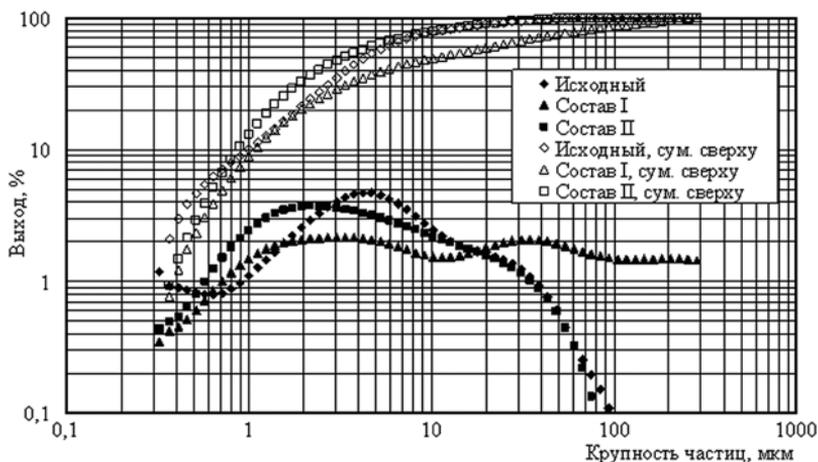


Рис. 1. Кривые распределения частиц твердой фазы отходов флотации по крупности

личество тонкодисперсных частиц в суспензии свидетельствует о возможности протекания флокуляции твердой фазы по ортокINETическому и перикINETическому вариантам. Твердая фаза состава I содержит примерно 9% частиц крупностью менее 1 мкм и 49% – крупностью менее 10 мкм. Для более высокозольного состава II характерна более высокая дисперсность: указанные величины составляют соответственно 13 и 79%.

Величина электрокинетического потенциала ζ , определенная методом потенциала течения на установке «ZETA-check», для исходной суспензии составила $-(31 \div 32)$ мВ, что не противоречит известным литературным данным [4, 7].

Для сгущения суспензии отходов флотации были выбраны анионоактивные и катионоактивные флокулянты с различными значениями молекулярной массы и долей заряженных групп. Концентрация рабочих растворов (C_{ϕ}) составляла 0,35%. Свойства исследованных флокулянтов приведены в табл. 1; ниже – их структурные формулы.

Структурные формулы исследованных флокулянтов:

Анионоактивные:

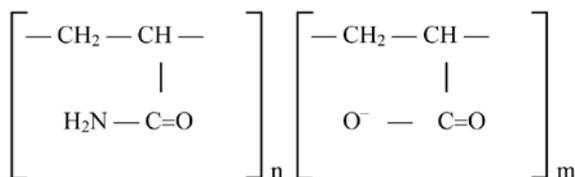
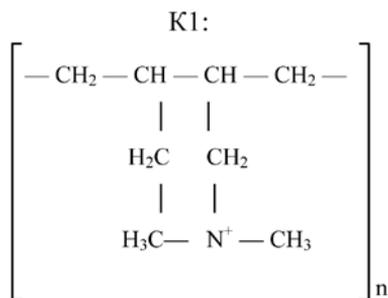


Таблица 1

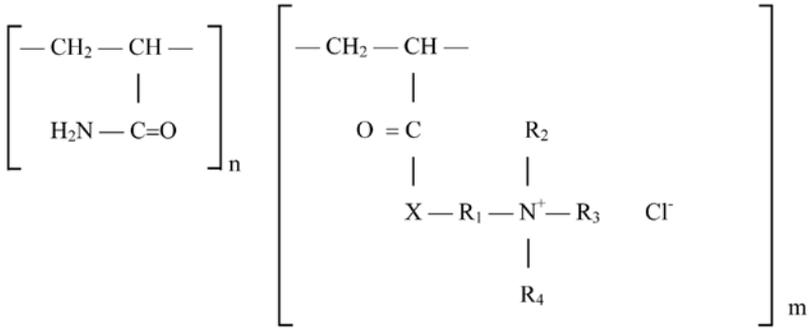
Перечень исследованных флокулянтов

| Условное обозначение флокулянта | Молекулярная масса, млн кг/кмоль | Доля заряженных групп, % |
|---------------------------------|----------------------------------|--------------------------|
| Анионоактивные | | |
| A1 | 6–10 | 30–40 |
| A2 | 14–16 | ~0 |
| A3 | 10–14 | 50 |
| A4 | 14–16 | 20 |
| A5 | 14–16 | 40 |
| A6 | 16–20 | 40 |
| A7 | 18–20 | 5–10 |
| A8 | 18–20 | 20–30 |
| A9 | 10 | 45–50 |
| A10 | 15–20 | 10–20 |
| A11 | 15–18 | 80 |
| A12 | 15–20 | 90–100 |
| Катионоактивные | | |
| K1 | 0,4–0,6 | 60–80 |
| K2 | 6–7 | 30–40 |
| K3 | 6–7 | 50–60 |
| K4 | 8–10 | 20–25 |
| K5 | 8–10 | 40–50 |
| K6 | 8–10 | 80–90 |
| K7 | 7–8 | 45–50 |
| K8 | 8–12 | 30–35 |
| K9 | 6–8 | 32–36 |
| K10 | 8–10 | 32–36 |

Катионоактивные.



K2-K9:



X — O или группа NH; R1, R2, R3, R4 — углеводородные радикалы; m, n — целые числа.

Опыты по определению реагентного режима сгущения исходной суспензии были выполнены последовательно в четыре этапа:

- выбор наиболее эффективного (то есть обеспечивающего максимальную возможную скорость осаждения твердой фазы) из анионоактивных флокулянтов при постоянном расходе (d) 250 г/т;
- выбор катионоактивного флокулянта, обеспечивающего наибольшее значение υ в сочетании с выбранным на предыдущем этапе анионоактивным при расходе каждого из флокулянтов 250 г/т; последовательность подачи флокулянтов на этом и последующих этапах: сначала — анионоактивный, затем — катионоактивный;
- определение наиболее эффективного соотношения выбранных анионоактивного и катионоактивного флокулянтов при действии их сочетания с постоянным суммарным расходом, равным 500 г/т;
- определение значения суммарного расхода выбранных флокулянтов, (d_2), обеспечивающего заданную скорость осаждения 13 м/ч.

Результаты опытов представлены в табл. 2 и на рис. 2.

Из табл. 1 (опыты № 1–12) видно, что при прочих равных условиях наибольшую скорость осаждения, равную 37,5 м/ч, обеспечивают флокулянты А5 и А11, с относительно высокой молекулярной массой и большой долей отрицательно заряженных функциональных групп. Дальнейшие опыты были выполнены с применением названных анионоактивных флокулянтов в сочетании с катионоактивными К1–К9. Результаты опытов

Таблица 2

Результаты опытов по сгущению исходной суспензии отходов флотации с применением флокулянтов

| № шт | Реагентный режим | | | | | | | | v, м/ч |
|---------|-------------------------------------|--------------------|--------|--------------------------------------|--------------------|--------|------------------------------------|---------------------------------|--------|
| | Анионоактивный (А) флокулянт (А) | | | Катионоактивный (К) флокулянт (К) | | | Соотноше- ние расхо- дов А:К | Суммар- ный рас- ход, г/т | |
| | марка | C _ф , % | d, г/г | марка | C _ф , % | d, г/г | | | |
| 1. | A1 | 0,35 | 250 | — | — | — | — | 250 | 6,2 |
| 2. | A2 | 0,35 | 250 | — | — | — | — | 250 | <1,0< |
| 3. | A3 | 0,35 | 250 | — | — | — | — | 250 | 26,3 |
| 4. | A4 | 0,35 | 250 | — | — | — | — | 250 | 1,0< |
| 5. | A5 | 0,35 | 250 | — | — | — | — | 250 | 37,5 |
| 6. | A6 | 0,35 | 250 | — | — | — | — | 250 | 17,1 |
| 7. | A7 | 0,35 | 250 | — | — | — | — | 250 | <1,0 |
| 8. | A8 | 0,35 | 250 | — | — | — | — | 250 | 8,8 |
| 9. | A9 | 0,35 | 250 | — | — | — | — | 250 | 10,5 |
| 10. | A10 | 0,35 | 250 | — | — | — | — | 250 | 9,2 |
| 11. | A11 | 0,35 | 250 | — | — | — | — | 250 | 37,5 |
| 12. | A12 | 0,35 | 250 | — | — | — | — | 250 | 3,5 |
| 13. | A5 | 0,35 | 250 | K1 | 0,35 | 250 | 50:50 | 500 | 24,7 |
| 14. | A5 | 0,35 | 250 | K2 | 0,35 | 250 | 50:50 | 500 | 36,0 |
| 15. | A5 | 0,35 | 250 | K3 | 0,35 | 250 | 50:50 | 500 | 32,7 |
| 16. | A5 | 0,35 | 250 | K4 | 0,35 | 250 | 50:50 | 500 | 30,0 |
| 17. | A5 | 0,35 | 250 | K5 | 0,35 | 250 | 50:50 | 500 | 36,0 |
| 18. | A5 | 0,35 | 250 | K6 | 0,35 | 250 | 50:50 | 500 | 30,5 |
| 19. | A5 | 0,35 | 250 | K7 | 0,35 | 250 | 50:50 | 500 | 37,1 |
| 20. | A5 | 0,35 | 250 | K8 | 0,35 | 250 | 50:50 | 500 | 32,7 |
| 21. | A5 | 0,35 | 250 | K9 | 0,35 | 250 | 50:50 | 500 | 32,4 |
| 22. | A11 | 0,35 | 250 | K1 | 0,35 | 250 | 50:50 | 500 | 16,4 |
| 23. | A11 | 0,35 | 250 | K2 | 0,35 | 250 | 50:50 | 500 | 22,3 |
| 24. | A11 | 0,35 | 250 | K3 | 0,35 | 250 | 50:50 | 500 | 21,2 |
| 25. | A11 | 0,35 | 250 | K4 | 0,35 | 250 | 50:50 | 500 | 20,0 |
| 26. | A11 | 0,35 | 250 | K5 | 0,35 | 250 | 50:50 | 500 | 27,7 |
| 27. | A11 | 0,35 | 250 | K6 | 0,35 | 250 | 50:50 | 500 | 25,3 |
| 28. | A11 | 0,35 | 250 | K7 | 0,35 | 250 | 50:50 | 500 | 28,8 |
| 29. | A11 | 0,35 | 250 | K8 | 0,35 | 250 | 50:50 | 500 | 30,8 |

| | | | | | | | | | |
|-----|-----|------|-----|----|------|-----|-------|-----|------|
| 30. | A11 | 0,35 | 250 | K9 | 0,35 | 250 | 50:50 | 500 | 24,0 |
| 31. | A5 | 0,35 | 450 | K2 | 0,35 | 50 | 90:10 | 500 | 32,7 |
| 32. | A5 | 0,35 | 400 | K2 | 0,35 | 100 | 80:20 | 500 | 37,9 |
| 33. | A5 | 0,35 | 350 | K2 | 0,35 | 150 | 70:30 | 500 | 40,0 |
| 34. | A5 | 0,35 | 300 | K2 | 0,35 | 200 | 60:40 | 500 | 32,7 |
| 35. | A5 | 0,35 | 200 | K2 | 0,35 | 300 | 40:60 | 500 | 32,7 |
| 36. | A5 | 0,35 | 150 | K2 | 0,35 | 350 | 30:70 | 500 | 30,0 |
| 37. | A5 | 0,35 | 100 | K2 | 0,35 | 400 | 20:80 | 500 | 14,0 |
| 38. | A5 | 0,35 | 50 | K2 | 0,35 | 450 | 10:90 | 500 | 5,3 |
| 39. | A5 | 0,35 | 75 | K2 | 0,35 | 25 | 75:25 | 100 | 5,5 |
| 40. | A5 | 0,35 | 100 | K2 | 0,35 | 33 | 75:25 | 133 | 7,1 |
| 41. | A5 | 0,35 | 150 | K2 | 0,35 | 50 | 75:25 | 200 | 13,2 |
| 42. | A5 | 0,35 | 180 | K2 | 0,35 | 60 | 75:25 | 240 | 20,0 |
| 43. | A5 | 0,35 | 225 | K2 | 0,35 | 75 | 75:25 | 300 | 25,2 |
| 44. | A5 | 0,35 | 300 | K2 | 0,35 | 100 | 75:25 | 400 | 35,0 |

№ 13–30 свидетельствуют о том, что А5 по сравнению с А11 в сочетании с одними и теми же катионоактивными флокулянтами обеспечивает в среднем в 1,4 раза более высокую скорость осаждения. Наиболее эффективными представляются сочетания А5 с К2, К5 и К7. Для проведения последующих опытов был выбран К2. По данным опытов № 31–38 (см. также рис. 2, а), при постоянном суммарном расходе флокулянтов 500 г/т скорость осаждения с увеличением доли катионоактивного полимера от 0 до 50–60% существенно не изменялась, а при дальнейшем увеличении резко снижалась. В качестве наиболее эффективного принято соотношение расходов А5 и К2, равное 75:25. Последующие опыты (№ 39–44) были выполнены для определения величины суммарного расхода флокулянтов, обеспечивающей скорость осаждения не менее 13 м/ч. Полученные результаты, представленные на рис. 2, б, свидетельствуют о монотонном возрастании скорости осаждения с увеличением d_{Σ} в пределах от 100 до 500 г/т. Указанному значению v соответствует суммарный расход флокулянтов порядка 190–210 г/т. В то же время с базовым сочетанием флокулянтов А1 и К1 скорость осаждения 13 м/ч достигается при d_{Σ} 660–690 г/т, то есть в 3,4 раза больше по сравнению с сочетанием А5 и К2. Во всех опытах с применением сочетаний анионоактивного и катионоактивного флокулянтов содержание твердой фазы в сливе не превышало 1 г/л.

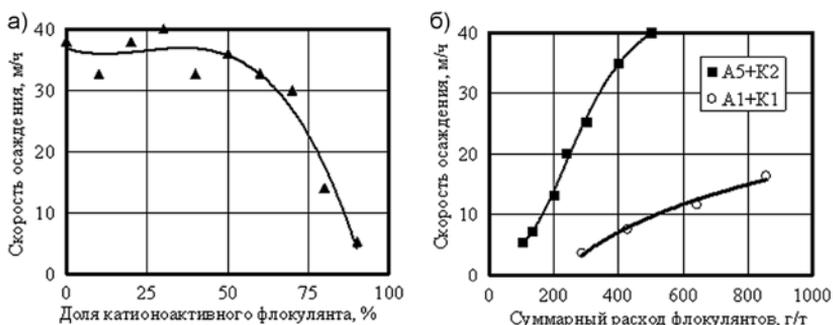


Рис. 2. Зависимость скорости осаждения твердой фазы исходной суспензии от реагентного режима: а) суммарный расход 500 г/т, переменное соотношение расходов А5 и К2; б) соотношение расходов анионоактивного и катионоактивного 75:25, переменный суммарный расход

Сочетание флокулянтов А5 и К2 с соотношением расходов 75:25 было исследовано также в опытах по сгущению искусственно приготовленных составов I и II в сравнении с базовым. Результаты опытов приведены на рис. 3.

Данные, представленные на рис. 3, а, свидетельствуют, что при прочих равных условиях сочетание флокулянтов А5 и К2 обеспечивает требуемую скорость осаждения твердой фазы состава I при суммарном расходе 100 г/т. В то же время для базового сочетания флокулянтов величина d_{Σ} существенно выше: для концентрации 15 г/л – 140 г/т (в 1,4 раза); для концентрации 60 г/л – 330 г/т (в 3,3 раза). С увеличением содержания твердой фазы от 15 до 60 г/л суммарный расход флокулянтов А5 и К2,

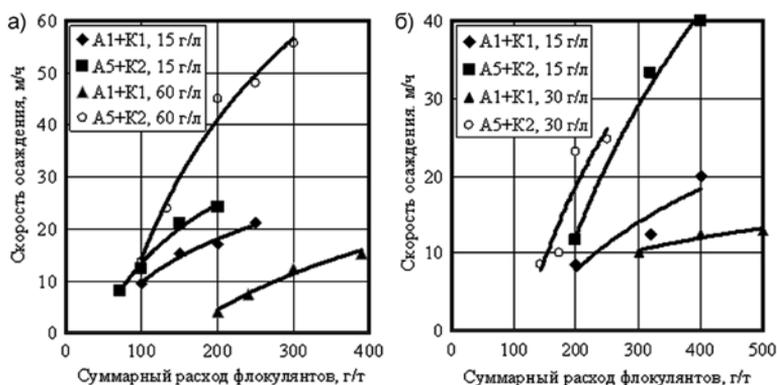


Рис. 3. Зависимость скорости осаждения твердой фазы суспензий различного состава от реагентного режима: а) состав I; б) состав II

необходимый для обеспечения требуемой скорости осаждения, практически не изменяется и составляет примерно 100 г/т. Результаты опытов по сгущению состава II (рис. 3, б) с содержанием твердой фазы 15 г/л свидетельствуют: скорость осаждения 13 м/ч обеспечивается предлагаемым сочетанием флокулянтов с величиной d_{Σ} , составляющей 200–210 г/т против 280–290 г/т для базового сочетания, то есть меньше в 1,4 раза. При увеличении содержания твердой фазы до 30 г/л соответствующие величины d_{Σ} составят 160–180 г/т и 480–500 г/т, то есть примерно в 3 раза меньше для предлагаемого сочетания по сравнению с базовым.

Из сопоставления данных рис. 3, а и 3, б видно, что при содержании твердой фазы 15 г/л с увеличением зольности твердой фазы от 69% до 76% для обеспечения требуемой скорости осаждения 13 м/ч следует увеличить суммарный расход флокулянтов А5 и К2 от 100 до 200 г/т, то есть в 2 раза.

Выводы

Установлено, что при прочих равных условиях наибольшую скорость осаждения твердой фазы исследованных отходов флотации обеспечивает сочетание высокомолекулярного анионоактивного флокулянта со сравнительно высокой долей отрицательно заряженных групп и среднемолекулярного катионоактивного флокулянта со сравнительно высокой долей положительно заряженных групп.

Наиболее рациональное соотношение расходов названных анионоактивного и катионоактивного флокулянтов составляет 75:25.

Суммарный расход предлагаемого сочетания флокулянтов для обеспечения требуемой скорости осаждения твердой фазы отходов флотации 13 м/ч при прочих равных условиях в 1,4–3,4 раза меньше по сравнению с базовым сочетанием флокулянтов.

Таким образом, требования по обеспечению экологической безопасности углеобогатительного производства обеспечиваются меньшими затратами материальных ресурсов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Лавриненко А. А., Гольберг Г. Ю.* Причины, затрудняющие повышение экологической эффективности углеобогащения (сообщение 1) // Кокс и химия. — 2015. — № 9. — С. 45–50.
2. *Техника и технология обогащения углей.* Справочное руководство / Под ред. В. А. Чантурия, А. Р. Молявко. — М.: Наука, 1995. — 622 с.
3. *Антипенко Л. А., Ермаков А. Ю.* Технологические инструкции обогатительных фабрик Кузнецкого бассейна. — Новосибирск: Гео, 2012. — 319 с.

4. *Thomas J., Hajduková J., Malíková P., Vidlár J., Matúšková V.* The Study of the Interaction between Flotation Tailings and Flocculants in Separation Process of Coal // *Inżynieria Mineralna – Journal of the Polish Mineral Engineering Society.* – 2014. – № 1 (33) – P. 259–268.

5. *Kumar S., Bhattacharya S., Mandre N. R.* Characterization and flocculation studies of fine coal tailings // *Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy.* – 2014. – V. 114, № 11. – P. 945–949.

6. *Glover S. M., Yan Y. D., Jameson G. J., Biggs S.* Polymer Molecular Weight and Mixing Effects on Floc Compressibility and Filterability / *Proc. 6th World Congress of Chemical Engineering, September 23–28, 2001, Melbourne, Australia.*

7. *Oruç F., Sabah E.* Effect of mixing conditions on flocculation performance of fine coal tailings / *XXIII International Mineral Processing Congress, 3–8 September 2006, Istanbul-Turkey.* – Istanbul, 2006. – P. 1192–1197. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

*Лавриненко Анатолий Афанасьевич*¹ – доктор технических наук, зав. лабораторией, e-mail: lavrin_a@mail.ru,

*Гольберг Григорий Юрьевич*¹ – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, e-mail: gr_yu_g@mail.ru,

*Кунилова Ирина Валерьевна*¹ – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, e-mail: ira_kunilowa@mail.ru,

*Раджабов Магомедгаджи Магомедович*¹ – кандидат технических наук, научный сотрудник, e-mail: radzhabov@list.ru,

*Дормидонтова Валентина Николаевна*¹ – ведущий инженер, e-mail: k.w.n.-90@mail.ru,

*Басарьгин Виктор Иванович*² – главный инженер, e-mail: Basarygin.VI@belon.ru,

*Басарьгин Максим Викторович*² – заместитель главного инженера по технологии, e-mail: Basarygin.MV@belon.ru,

Свечникова Наталья Юрьевна – кандидат технических наук, доцент, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, e-mail: natasha-svechnikova@ya.ru,

¹ Институт проблем комплексного освоения недр РАН,

² ОАО ЦОФ «Беловская».

Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2016. No. 12, pp. 222–224.

UDC 622.793

**A.A. Lavrinenko, G.Yu. Gol'berg, I.V. Kunilova,
M.M. Radzhabov, V.N. Dormidontova, N.Yu. Svechnikova,
V.I. Basarygin, M.V. Basarygin**

THICKENING OF FINE COAL TAILINGS WITH DIFFERENT COMPOSITION USING ANIONIC AND CATIONIC FLOCCULANTS

This article presents the experimental results on coal flotation tailings flocculation by anionic and cationic polymers. We investigated either native suspension with solids ash content 72,6% or artificially compounded mixtures with ash contents 69,0 and 76,0%. It was chosen

combination of anionic and cationic flocculants which was more efficient in comparison with basic flocculants combination. It was established relationship between solids settling rate and flocculants dosage when the ash content is changed from 69,0 to 76,0% and solids content is changed from 15 to 60 g/l.

Key words: flocculation, thickening, coal flotation tailings, anionic flocculants, cationic flocculants, settling rate.

AUTHORS

Lavrinenko A.A.¹, Doctor of Technical Sciences, Head of Laboratory, e-mail address: lavrin_a@mail.ru,
Golberg G. Yu.¹, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, e-mail address: gr_yu_g@mail.ru,
Kunilova I.V.¹, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, e-mail address: ira_kunilowa@mail.ru,
Radzhabov M.M.¹, Candidate of Technical Sciences, Researcher, e-mail address: radzhabov@list.ru,
Dormidontova V.N.¹, Leading Engineer, e-mail address: k.w.n.-90@mail.ru,
Basarygin V.I.², Chief Engineer, e-mail: Basarygin.VI@belon.ru,
Basarygin M.V.², Deputy Chief Engineer for Technology, e-mail: Basarygin.MV@belon.ru,
Svechnikova N. Yu., Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov, 455000, Magnitogorsk, Russia, e-mail address: natasha-svechnikova@ya.ru,
¹ Institute of Problems of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of Russian Academy of Sciences, 111020, Moscow, Russia,
² JSC CPP «Belovskaya», 652607, Belovo, Kemerovo Region, Russia.

ACKNOWLEDGEMENTS

The study has been supported by the Russian Science Foundation, Grant No. 143700050.

REFERENCES

1. Lavrinenko A. A., Gol'berg G. Yu. *Koks i khimiya*. 2015, no 9, pp. 45–50.
2. *Tekhnika i tekhnologiya obogashcheniya ugley*. Spravochnoe rukovodstvo. Pod red. V. A. Chanturiya, A. R. Molyavko (Process and equipment for coal preparation. Reference book. Chanturiya V. A., Molyavko A. R. (Eds.)), Moscow, Nauka, 1995, 622 p.
3. Antipenko L. A., Ermakov A. Yu. *Tekhnologicheskie instruktsii obogatitel'nykh fabrik Kuznetskogo basseyna* (Technological instructions for kuznetsk basin preparation plants), Novosibirsk, Geo, 2012, 319 p.
4. Thomas J., Hajduková J., Malíková P., Vidlár J., Matúšková V. The Study of the Interaction between Flotation Tailings and Flocculants in Separation Process of Coal. *Inżynieria Mineralna* Journal of the Polish Mineral Engineering Society. 2014, no 1 (33), pp. 259–268.
5. Kumar S., Bhattacharya S., Mandre N. R. Characterization and flocculation studies of fine coal tailings. *Journal of the Southern African institute of mining and metallurgy*. 2014. V. 114, no 11, pp. 945–949.
6. Glover S. M., Yan Y. D., Jameson G. J., Biggs S. Polymer Molecular Weight and Mixing Effects on Flocc Compressibility and Filterability. *Proc. 6th World Congress of Chemical Engineering*, September 23–28, 2001, Melbourne, Australia.
7. Oruç F., Sabah E. Effect of mixing conditions on flocculation performance of fine coal tailings. *XXIII International Mineral Processing Congress*, 3–8 September 2006, Istanbul-Turkey. Istanbul, 2006, pp. 1192–1197.