**УДК**

**АНАЛИЗ ДИНАМИКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ФЛОТАЦИИ**

**ПРИ РАЗНЫХ РЕАГЕНТНЫХ РЕЖИМАХ**

**Серафимова Л. И.**, доцент, к.т.н., ГОУ ВПО «ДонНТУ»,

**Волкова А. А.**, студентка группы ОПИ-15 ГОУ ВПО «ДонНТУ».

**эл. адрес**

**Аннотация.** Проведен анализ технологической схемы ГОФ «Донецкая». Предложены решения ................ ................. ............................................... ......................................по её модернизации.

**Ключевые слова**: антрацит, технологическая схема, отсадка, концентрат, отходы обогащения.

**Annotation.** The analysis of the technological scheme of GOF «Donetsk» was carried out. ..........................................................................................Solutions are proposed for its modernization.

**Key words:** anthracite, technological scheme, jigging, concentrate, waste enrichment.

Для улучшения флотационных свойств угольных частиц применяют поверхностно-активные вещества (флотореагенты): собиратели и пенообразователи. Собиратели адсорбируются на поверхности угольных частиц и повышают их гидрофобность, т. е. улучшают сродство угольных частиц с воздушными пузырьками. Пенообразователи повышают устойчивость пены, тем самым предотвращая ее разрушение и выпадение угольных частиц из пенного слоя обратно в пульпу. При низкой зольности выходных шламов (не более 18...20%) и легкой обогатимости рекомендуется простая, так называемая прямая схема. При флотации шламов более тяжелой обогатимости и большей их зольности применяют различные схемы с перечищенням концентрата. Наибольшее распространение схема с перечищенням концентрата последних камер в машине основной флотации. Иногда при особо высокозольных шламах применяют схемы с перечищенням всего концентрата основной флотации. Перечищення концентрата может осуществляться либо в отдельной флотационной машине, или в отдельных камерах машины основной флотации. Перечищення в отдельных машинах или камерах целесообразнее, так как для этой операции требуется режим, отличный от режима основной флотации. В большинстве случаев в качестве собирателя при флотации углей в странах СНГ используются аполярные реагенты: керосин, дизельное топливо, легкий газойль и др. В качестве пенообразователей - гетерополярные: КОБС (кубовые остатки производства бутилового спирта), КЭТГОЛ и др.

Предварительная серия экспериментов была поставлена с широко применяемыми реагентами – керосином, соляровым маслом (дизельное топливо) и Т-80 (Оксаль). Результаты опытов представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1 - Результаты флотации шламов марки Г ЦОФ «Комсомольская», %

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Время от на-чала опы-  та, с | Код режима | Режим 1к | | Режим 2к | | Режим 3к | |
| Продукт дробной флотации | керосин  900 г/т | Т-80,  80 г/т | керосин  1300 г/т | Т-80,  100 г/т | керосин  1300 г/т | Т-80,  120 г/т |
| выход | зольность | выход | зольность | выход | зольность |
| 60 | концентрат 1 | 25,42 | 7,45 | 25,16 | 8,67 | 28,45 | 9,82 |
| 180 | концентрат 2 | 10,12 | 10,25 | 11,45 | 12,25 | 13,81 | 14,58 |
| 300 | концентрат 3 | 3,41 | 17,52 | 5,08 | 19,51 | 5,56 | 23,15 |
| 420 | концентрат 4 | 2,36 | 22,06 | 2,81 | 24,57 | 3,22 | 26,89 |
| 540 | концентрат 5 | 1,26 | 31,28 | 2,89 | 33,19 | 3,12 | 36,16 |
| Всего концентрат | | 42,57 | 10,44 | 47,39 | 13,14 | 54,16 | 14,93 |
| Отходы | | 57,43 | 56,82 | 52,61 | 60,15 | 45,84 | 62,92 |
| Итого | | 100,00 | 37,07 | 100,00 | 37,87 | 100,00 | 36,93 |

Таблица 2 - Результаты дробной флотации шламов марки Г, %

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Время от начала опы-  та,  с | Код режима | Режим 1дт | | Режим 2дт | | Режим 3дт | |
| Продукт дробной флотации | диз-топливо  900 г/т | Т-80,  80 г/т | диз-топливо  1300 г/т | Т-80,  100 г/т | диз-топливо  1300 г/т | Т-80,  120 г/т |
| выход | зольность | выход | зольность | выход | зольность |
| 60 | концентрат 1 | 25,42 | 7,45 | 25,16 | 8,67 | 28,45 | 9,82 |
| 180 | концентрат 2 | 10,12 | 10,25 | 11,45 | 12,25 | 13,81 | 14,58 |
| 300 | концентрат 3 | 3,41 | 17,52 | 5,08 | 19,51 | 5,56 | 23,15 |
| 420 | концентрат 4 | 2,36 | 22,06 | 2,81 | 24,57 | 3,22 | 26,89 |
| 540 | концентрат 5 | 1,26 | 31,28 | 2,89 | 33,19 | 3,12 | 36,16 |
| Всего концентрат | | 42,57 | 10,44 | 47,39 | 13,14 | 54,16 | 14,93 |
| Отходы | | 57,43 | 56,82 | 52,61 | 60,15 | 45,84 | 62,92 |
| Итого | | 100,00 | 37,07 | 100,00 | 37,87 | 100,00 | 36,93 |

Сравнение результатов экспериментов представлено на рис. 1.



Рисунок 1 - Результаты флотации с применением керосина и дизтоплива

Как следует из данных, даже в лабораторных условиях не удалось получить высокозольных отходов флотации. Скорость перехода в пенный слой угольных частиц для данных серий экспериментов представлена на рис. 2.



Рисунок 2 - Скорость флотации с применением керосина и дизтоплива

Из данных рис. 1 следует, что наибольшая скорость флотации соответствует съему первого концентрата, когда в пенный слой переходят наиболее легкофлотируемые и низкозольные частицы. Из примененных реагентов дизельное топливо обеспечивает максимальное значение скорости флотации порядка 32 усл. ед. (%/с) при его расходе 1300 г/т и расходе вспенивателя Т-80 120 г/т. При этом достигается выход концентрата в количестве 54% с зольностью около 15% и зольность отходов полрядка 63%.

Разница во флотационной активности керосина и дизтоплива может быть объяснена, исходя из физико-химической характеристики реагентов, которая приведена в табл. 1.3. Анализ данных таблицы показывает, что вещественный состав керосина и дизтоплива колеблется в широких пределах и в целом эти пределы являются довольно близкими: оба реагента содержат парафиновые, ароматические, нафтеновые и другие соединения. В работе [3] отмечается, что дизельное топливо содержит также ряд ненасыщенных соединений, а осветительный керосин не содержит непредельных соединений [23]. Фракционный состав собирателей показан на рис. 1.3 (по данным работ [30, 31, 29]).

Таблица 3 - Физико-химическая характеристика реагентов по данным ТУ

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Показатели | Значение | | |
| керосин освети-тельный | дизтопливо (соляровое масло) | масло  ПОД |
| Плотность, г/см3 | 0,84 | 0,8...0,9 | 0,98...1,02 |
| Вязкость, сСт | 2,5...4 | 5...9 | при 40оС 16 |
| Показатель преломления | 1,4490 | 1,4615 | 1,4600 |
| Кислотность, мгКОН/100мл топлива, не более | 1,4 | 0,8 | 0,8 |
| Зольность, % , не более | 0,005 | 0,025 |  |
| Сера, %, не более | 0,1 | 0,2 |  |



Рисунок 3 - Фракционный состав реагентов-собирателей

Из графиков следует, что дизтопливо содержит больше углеводородов, кипящих при более высоких температурах, по сравнению с керосином. Это свидетельствует о том, что в составе этого реагента выше содержание соединений с бóльшим молекулярным весом, но с худшей растворимостью. К таким же выводам приходит и автор работы [21]. В работе [6] указывается, что при флотации углей марки Г, имеющих высокую пористость поверхности, молекулы реагента с бóльшим молекулярным весом труднее проникают в поры, увеличивая время флотации, но, блокируя устья пор, снижают расход реагентов. При этом молекулы с большим углеводородным радикалом оказывают более сильное гидрофобизирующее действие на поверхность угля.

Выполненный анализ и результаты флотационных экспериментов позволяют прийти к решению об изменении реагентного режима в следующем направлении. В качестве собирателя необходимо использовать смесь керосина и дизтоплива, в качестве вспенивателя – масло ПОД. В работах [23, 21, 2] указывается, что в составе смесей реагенты сохраняют свои индивидуальные свойства. Кроме того, для шламов марки Г более активными являются фракции с температурой кипения более 250оС в отличие от марок углей средней степени метаморфизма, и флотация идет тем хуже, чем больше в смеси низкоактивных фракций. По данным рис. 4.10 в составе керосина фракций с температурой кипения менее 250оС порядка 60%, а в составе дизтоплива – только 18-20%. По данным табл. 1.3 показатель преломления для дизтоплива выше, чем у керосина, что свидетельствует о большем содержании ароматических соединений, которые более флотационно активны.

В разделе 3 данной работы в ходе имитационных экспериментов было показано, что с увеличением вязкостного сопротивления поверхности фаз время существования флотационного комплекса достаточно длительное даже при критическом эксцентриситете столкновения угольной частицы и воздушного пузырька за счет снижения тангенциальной скорости движения частицы по поверхности пузырька. Соответственно, из данных табл. 3 видно, что вязкость дизтоплива и масла ПОД выше по сравнению с вязкостью керосина. Следовательно, применение этих реагентов будет сказываться положительно на длительности существования образовавшегося флотационного комплекса. А более низкая вязкость керосина будет компенсировать отрицательное влияние масла ПОД на образование вязкой пены на поверхности флотомашины, т.к. по данным работы [31] пеногасящее действие аполярного собирателя усиливается с уменьшением его вязкости.

Исследованиями, проводившимися ранее, было показано положительное влияние применения аполярных масел в виде эмульсий и дробной подачи реагентов на процесс флотации. Использование керосина, состоящего из более легкокипящих углеводородов, в составе смеси будет способствовать лучшему эмульгированию углеводородов дизтоплива, имеющих более высокую температуру кипения.

Таким образом, необходимо провести экспериментальные исследования реагентных режимов флотации с применением смеси керосина и дизтоплива в соотношении 1:1 с разными расходами смеси и методами подачи реагентов в процесс.

Приятые расходы смеси реагентов-собирателей и пенообразователя масла ПОД, способы подачи их в процесс показаны в табл. 4. Во всех экспериментах выполнялся дробный съем пенного продукта, опыты дублировались и определялись средние данные из трех опытов.

Таблица 4 - Реагентные режимы и их коды в ходе экспериментов (оформить правильно)

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Се-рия | Код режима | Расход смеси соби-рателей, г/т | Вид подачи в процесс | Расход масла ПОД, г/т | Вид подачи в процесс | Эмульги-рование, мин. |
| Серия 1 | Режим 1 | 900 | Разовая | 150 | Разовая | - |
| Режим 2 | 1300 | Разовая | 200 | Разовая | - |
| Режим 3 | 1300 | Разовая | 250 | Разовая | - |
| Режим 4 | 900 | 50%+50%\* | 150 | 75%+25%\*\* | - |
| Режим 5 | 1300 | 50%+50% | 200 | 75%+25% | - |
| Режим 6 | 1300 | 50%+50% | 250 | 75%+25% | - |
| Серия 2 | Режим 1-1 | 900 | Разовая | 150 | Разовая | 1 |
| Режим 2-1 | 1300 | Разовая | 200 | Разовая | 1 |
| Режим 3-1 | 1300 | Разовая | 250 | Разовая | 1 |
| Режим 4-1 | 900 | 50%+50% | 150 | 75%+25% | 1 |
| Режим 5-1 | 1300 | 50%+50% | 200 | 75%+25% | 1 |
| Режим 6-1 | 1300 | 50%+50% | 250 | 75%+25% | 1 |
| Серия 3 | Режим 1-10 | 900 | Разовая | 150 | Разовая | 10 |
| Режим 2-10 | 1300 | Разовая | 200 | Разовая | 10 |
| Режим 3-10 | 1300 | Разовая | 250 | Разовая | 10 |
| Режим 4-10 | 900 | 50%+50% | 150 | 75%+25% | 10 |
| Режим 5-10 | 1300 | 50%+50% | 200 | 75%+25% | 10 |
| Режим 6-10 | 1300 | 50%+50% | 250 | 75%+25% | 10 |

\* 50% смеси собирателей контактировало с пульпой перед началом флотации, остальные 50% подавались после съема второго концентрата;

\*\* 75% вспенивателя подавалось за 20с до подачи собирателя, остальные 25% добавлялись после съема второго концентрата.

Результаты экспериментов представлены в графической форме для удобства сравнения на рис. 4.



Рисунок 4 - Результаты флотации при разных реагентных режимах

Полученные в сериях 1-3 результаты позволяют сделать следующие выводы.

В первой серии экспериментов при низких расходах смеси собирателей и вспенивателя масло ПОД и разовой подаче реагентов без предварительного эмульгирования (режим 1) выход концентрата с зольностью 13,68% составил 54,1% при зольности отходов 63,23%, что свидетельствует о потерях горючей массы с отходами. При повышении расхода реагентов все показатели увеличиваются – выход и зольность концентрата, зольность отходов (режимы 2 и 3). Повышение расхода реагентов в принятых пределах способствует подъему выхода концентрата от 54 до 61...66% и зольности отходов на 8...11% при росте зольности концентрата на 0,5-4%, что вполне согласуется с изложенными выше теоретическими подходами.

При дробной подаче реагентов в процесс при тех же расходах (режимы 4-6) зольность и выход концентрата изменяются примерно в тех же пределах при значительном повышении зольности отходов - до 75,24%. Таким образом, в зависимости от требований потребителя по золе концентрата (на коксование или энергетику), можно в производственных условиях или получать концентрат с несколько большим выходом и зольностью или экономить реагенты.

В серии 2 использовалось эмульгирование реагентов в водной среде перед подачей в процесс в течение 1 мин., для чего была применена мешалка с высоким числом оборотов. Результаты флотации свидетельствуют о том, что эмульгирование обеспечивает получение большего количества концентрата по сравнению с режимом без эмульгирования при некотором снижении его зольности. Дробная подача эмульсии не оказывает существенного влияния на выход концентрата, однако при этом достигнута максимальная зольность отходов – 76,39% при повышении зольности концентрата на 0,7%.

В серии 3 длительность эмульгирования была увеличена до 10 мин. Анализ показателей флотации позволил прийти к заключению о снижении всех параметров продуктов. Зольность концентрата повысилась до 17...19% за счет его озоления частицами сростков при практически мало изменившемся выходе. При низком расходе собирателя (режим 6-1) выход концентрата меньше, чем в случае разовой подачи реагентов без эмульгирования (режим 2). Дробная подача тонкодисперсной эмульсии не способствовала повышению технологических показателей. Зольность отходов получена на уровне 72...75%.

Для анализа причин ухудшения результатов флотации при длительном эмульгировании смеси реагентов на основании данных, приведенных в работе [12], нами построены кумулятивные кривые гранулометрического состава эмульсии керосина, представленные на рис. 5.



Рисунок 5 - Определение среднего диаметра капель эмульсии в зависимости от времени эмульгирования

Из графиков видно, что при увеличении времени эмульгирования средний размер капель эмульсии снижается от 8,5 до 1,8 мкм, т.е. почти в четыре раза. При этом следует вспомнить о такой особенности газовых углей, как высокая пористость поверхности. По-видимому, при увеличении дисперсности эмульсии происходит более значительное поглощение реагентов-собирателей внутренней поверхностью пор, что непродуктивно увеличивает их расход или при том же расходе не приводит к улучшению показателей флотации.

Для исследования кинетики процесса была определена скорость перехода в пену дробно снимаемых концентратов при разных режимах, представленная на рис. 6 - 8, на которых пунктиром обозначены режимы с дробной подачей реагентов в процесс.



Рисунок 6 - Скорость флотации при разовой и дробной подаче смеси реагентов-собирателей (керосина и дизтоплива) без эмульгирования

Из зависимости для скорости перехода в пенный слой следует, что наибольшая скорость флотации имеет место при дробной подаче смеси реагентов при расходе 1300 г/т и вспенивателя масла ПОД 250 г/т (режим 6).



Рисунок 8 - Скорость флотации при эмульгировании смеси реагентов в течение 10 минут



Рисунок 7 - Скорость флотации при эмульгировании смеси реагентов в течение 1 минуты (разовая и дробная подача эмульсии)

Приведенные данные позволяют заключить, что максимальная скорость перехода в пену угольных частиц наблюдается в случае эмульгирования смеси реагентов в течение 1 мин. при дробной подаче эмульсии (режим 6-1). При этом отмечено, что при дробной подаче скорость флотации после съема первых двух концентратов снижается (точка, соответствующая 3 мин. на рис. 6-8). Затем после подачи второй порции реагентов этот параметр несколько повышается, и в пену переходят (доизвлекаются) более зольные угольные частицы, формируя третий концентрат. При пониженных расходах реагентов (режимы 4, 4-1, 4-10) незначительное повышение скорости перехода в пену наблюдается уже после съема третьего концентрата.

Динамика изменения зольности дробных концентратов показана на рис. 9-11.



Рисунок 9 - Повышение зольности дробных концентратов во времени

Из графиков следует, что наиболее низкозольные концентраты могут быть получены при низких расходах реагентов, но при этом растут потери горючей массы с отходами.



Рисунок 11 - Зольность дробных концентратов при эмульгировании реагентов в течение 10 мин



Рисунок 10 - Зольность дробных концентратов при эмульгировании реагентов в течение 1 мин

Вывод: Анализ данных позволяет заключить, что режим 6-1 является наиболее эффективным, т.к. обеспечивает высокий выход концентрата при зольности концентрата 17% в количестве 66% и высокозольные отходы – 76,23%.

**Список литературы:**

1. Саранчук, В.И. Флотирование углей реагентами из продуктов коксохимии [Текст] / В.И. Саранчук, И.А. Аровин, Л.Я. Галушко. - Донецк: «Східний видавничий дім». – 2006. – 192 с.

2. Изыскание путей совершенствования технологии флотационного обогащения: Отчет по гостеме №Г-16-67 [Текст]. Рук. Ельяшевич М.Г. -1968. – 135 с.

3. Теоретические исследования и совершенствование технологии обогащения мелких углей, антрацита и графита: Отчет по гостеме №Г-59-75 [Текст]. Рук. Ельяшевич М.Г. – 1980. – 146 с.

4. Саранчук, В.И. Надмолекулярная организация, структура и свойства угля [Текст] / В.И. Саранчук, А.Г. Айруни, К.Е. Ковалев. – Киев: Наукова думка, 1988. – 192 с.

5. Петрология углей СССР [Текст] / Под ред Волковой И.Б. - Ленинград: Недра, 1986. – 248 с.

6. Еремин, И.В. Петрография и физические свойства углей [Текст] / И.В. Еремин, В.В. Лебедев, Д.А. Цикарев. - М.: Недра, 1980. – 264 с.

7. Братичак, М.М. Хімія та технологія переробки вугілля: Підручник [Текст] / М.М. Братичак, С.В. Пиш’єв, М.І. Рудкевич. - Львів: Бескид Біт, 2006. – 272 с.

8. Русьянова, Н.Д. Углехимия [Текст] / Н.Д. Русьянова. - М: Наука, 2000. – 316 с.

9. Мелик-Гайказян, В.И. Исследование механизма упрочнения контакта между пузырьком и угольной частицей аполярным реагентом [Текст] / В.И. Мелик-Гайказян, А.А. Байченко // ДАН СССР, 1961. – т. 136. - №6. – С. 96-112.

10. Moudgil, B.M. Vakarelski Influence of Nanoscale Roughness on Flotation [Text] / B.M. Moudgil, S.C. Brown, I.U. Vakarelski // Min. Engineering. - Vol. 10? 2000. – pp. 647-653.

11. Рожнова, Е.Е. Флотируемость петрографических компонентов малометаморфизованных углей [Текст] / Е.Е. Рожнова // Труды ин-та УкрНИИ-Углеобогащение, т. II, - М, 1963. – С. 148-161.

12. Самойлов, А.И. О взаимодействии аполярных реагентов-собирателей с самородной серой [Текст] / А.И. Самойлов // Обогащение полезных ископаемых. – Киев: Техніка. 1981. – Вып. 28. - С. 64-66.

(разместить на 16 стр полных)