

УДК 622.7

## СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И ФЛОТАЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ РЕАГЕНТОВ

Вахонина Т.Е., старший преподаватель  
Бронникова Е.О., аспирант, гр. ОПа-221, II курс  
Научный руководитель: Клейн М.С., д.т.н., доцент, профессор  
Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева,  
г. Кемерово

В настоящее время флотация угольных шламов широко применяется на УОФ при обогащении практически всех марок коксующихся углей и некоторых марок энергетических углей (Г, СС, Т). Флотация шламов позволяет решить важную задачу очистки шламовых вод от твердой фазы для повторного использования воды и получить при этом качественный товарный продукт – флотоконцентрат.

Процесс пенной флотации угольных шламов заключается в том, что во флотационной машине частицы угля, плохо смачиваемые водой, при столкновении с пузырьками воздуха прилипают к ним и всплывают на поверхность пульпы. Всплывшие пузырьки воздуха с частицами угля образуют пену, которая удаляется из машины. Частицы породы, хорошо смачиваемые водой, к пузырькам не прилипают и остаются в пульпе. Таким образом, происходит разделение мелких угольных и породных частиц с получением угольного концентрата и отходов [1].

Для усиления различия в смачиваемости водой поверхности частиц угля и породы используют флотационные реагенты собиратели (керосин, термогазойль и др), а также реагенты вспениватели для образования флотационной пены.

Одним из факторов, ограничивающим применение флотационного процесса на УОФ, является его себестоимость. Снижение затрат на реагенты можно рассматривать как одно из перспективных направлений, которое поможет расширить фронт флотации. С этой целью в производство флотореагентов целесообразно вовлекать вторичные продукты нефте и коксохимических производств, например, побочный продукт коксохимии ПКХ.

Для оценки возможности использования ПКХ в качестве реагента собирателя проведены сравнительные исследования его физико-химических свойств и классических реагентов собирателей - термогазойля и керосина. Результаты исследования представлены в табл. 1.

По физико-химическим свойствам исследуемых образцов реагентов заметных различий между ними не обнаружено, что предполагает возможность использования ПКХ при флотации.

Таблица 1

Физико-химические свойства исследуемых образцов реагентов

Наименование показателя	Метод исследования по ГОСТ	Значение показателя		
		ПКХ	Теромогазойль	Керосин
Плотность при 20 °С, г/см <sup>3</sup>	ГОСТ ISO 3675-2014	1,035	0,928	0,801
Содержание воды, %	ГОСТ 2477-2014	Менее 1	-	-
Температура вспышки, °С	ГОСТ 4333-2014 (ISO 2592:2000)	+97	+80	+52
Температура застывания, °С	ГОСТ 20287-91	-33	-27	-60
Кинематическая вязкость при t <sub>20</sub> °С, мм <sup>2</sup> /с	ГОСТ 31391-2009	4,37	3,86	1,41
Поверхностное натяжение, σ · 10 <sup>-3</sup> Дж/м <sup>2</sup>	Метод взвешивания капля	53,17	42,84	47,13
Краевой угол смачиваемости, Θ °	Оптический метод	43	60	50

Для сравнительной оценки флотоактивности реагентов в лабораторных условиях проведены флотоопыты на пробе пульпы питания флотации шламов угля марки КС при содержании твердого в пробе 63 г/л. Гранулометрический состав шламов приведен в таблице 2.

Таблица 2

Гранулометрический состав угольного шлама

Классы, мм	+0,45	0,315-0,45	0,125-0,315	0,04-0,125	-0,04	Всего
Выход, %	11,2	6,5	38,9	20,0	23,4	100
Зольность, %	12,6	11,4	15,9	16,7	31,8	19,1

Флотационные опыты проводились на лабораторной машине механического типа ФМ-1 с объемом камеры 1 л согласно ГОСТ 33656-2015. Эффективность процесса оценивалась по показателям выхода  $\gamma_i$ , зольности  $A^d$  и извлечения горючей массы  $E_{к-т}^r$  в продукты обогащения [2]. Для сравнительной оценки результатов флотации были рассчитаны технологические показатели процесса:

1. Содержание твердого в пенном продукте  $C_{пп}$ :

$$C_{пп} = \frac{P_T}{P_{пп} + P_T \cdot \left(\frac{1}{\rho_T} - 1\right)}, \quad (1)$$

где  $P_T$  - вес твердого в пенном продукте, г;  $P_{пп}$  - вес пенного продукта, г;  $\rho_T$  - плотность твердого, г/см<sup>3</sup>.

2. Устойчивость пены равна:

$$Y = h_2/h_1, \quad (2)$$

где  $h_1$  и  $h_2$  – высота слоя пены до и после разрушения, соответственно, мм.

3. Коэффициент селективности  $K_{сел}$  рассчитывался по формуле:

$$K_{сел} = \sqrt{\frac{E_{к-т}^Г \cdot E_{отх}^3}{E_{отх}^Г \cdot E_{к-т}^3}}, \quad (3)$$

где  $E_{к-т}^Г$  — извлечение горючей массы в концентрат;  $E_{отх}^Г$  — извлечение горючей массы в отходы;  $E_{к-т}^3$  — извлечение золы в концентрат;  $E_{отх}^3$  — извлечение золы в отходы.

4. Коэффициент технологической эффективности определяют по формуле Фоменко

$$\mathcal{E}_ф = \frac{\gamma_{к-т}(100 - A_{к-т}^d) \cdot (100 - \gamma_{к-т}) \cdot A_{отх}^d}{100 \cdot (100 - A_{исх}^d) \cdot A_{исх}^d} \quad (4)$$

Полученные результаты флотоопытов при использовании сравниваемых реагентов представлены в таблице 3.

Таблица 3

Влияние расхода собирателей на технологические показатели флотации

Расход, кг/т	Концентрат							Отходы				
	$\gamma$ , %	$A^d$ , %	E, %	C, г/л	У	$K_{сел}$	$\mathcal{E}_ф$	$\gamma$ , %	$A^d$ , %	$\gamma$ , %	$A^d$ , %	$A^d_{общ}$ , %
<b>ПКХ</b>												
0,5	21,1	6,1	24,4	328	0,75	2,1	22,8	60,9	17,5	18,1	39,6	22,6
1,0	68,1	7,0	78,3	339	0,74	3,3	58,9	21,1	33,2	10,8	68,1	45,0
1,5	77,7	8,1	88,3	347	0,71	3,9	59,2	11,1	45,6	11,2	69,2	57,5
2,0	82,8	9,0	93,1	352	0,52	4,6	56,7	7,1	60,9	10,1	72,4	67,7
2,5	84,1	9,3	94,3	349	0,49	4,9	55,8	6,0	63,4	9,9	75,7	71,1
3,0	86,4	9,7	96,5	338	0,48	5,9	54,2	4,9	73,7	8,7	81,9	79,0
<b>Среднее</b>	<b>70,0</b>	<b>8,2</b>	<b>79,2</b>	<b>342</b>	<b>0,62</b>	<b>4,1</b>	<b>51,3</b>	<b>18,5</b>	<b>49,1</b>	<b>11,5</b>	<b>67,8</b>	<b>57,2</b>
<b>ТЕРМОГАЗОЙЛЬ</b>												
0,5	18,9	6,6	21,8	192	0,54	2,0	20,4	61,6	15,3	19,6	43,1	22,0
1,0	53,9	7,1	61,9	293	0,55	2,6	49,6	32,5	24,8	13,6	53,2	33,2
1,5	66,0	7,6	75,4	319	0,53	2,9	55,6	21,7	28,9	12,3	63,5	41,4
2,0	71,5	8,0	81,3	326	0,56	3,2	56,9	16,3	34,1	12,1	64,2	46,9
2,5	78,0	8,7	88,1	336	0,57	3,7	56,8	11,2	44,3	10,7	68,3	56,0
3,0	81,4	9,0	91,6	347	0,59	4,2	56,5	8,9	52,5	9,7	73,2	63,3
<b>Среднее</b>	<b>61,6</b>	<b>7,8</b>	<b>70,0</b>	<b>302</b>	<b>0,56</b>	<b>3,1</b>	<b>49,3</b>	<b>25,4</b>	<b>33,3</b>	<b>13,0</b>	<b>60,9</b>	<b>43,8</b>
<b>КЕРОСИН</b>												
0,5	33,7	5,7	39,3	251	0,50	2,4	35,3	47,6	18,3	18,8	45,2	25,9
1,0	49,2	5,9	57,2	333	0,53	2,7	48,5	35,8	20,2	15,1	59,6	31,9
1,5	61,9	6,7	71,4	340	0,59	3,0	56,0	25,1	27,1	13,0	62,9	39,3
2,0	71,0	7,8	80,9	344	0,63	3,2	57,4	17,3	34,8	11,7	64,4	46,7
2,5	76,3	8,3	86,5	352	0,78	3,6	57,8	13,0	40,8	10,7	69,7	53,8
3,0	78,9	8,5	89,2	358	0,85	3,9	57,8	10,2	44,6	10,9	69,0	58,6
<b>Среднее</b>	<b>61,8</b>	<b>7,2</b>	<b>70,8</b>	<b>330</b>	<b>0,65</b>	<b>3,1</b>	<b>52,1</b>	<b>24,8</b>	<b>31,0</b>	<b>13,4</b>	<b>61,8</b>	<b>42,7</b>

Из полученных результатов можно сделать вывод, что при флотации пробы пульпы угольных шламов марки КС показатели флотоактивности собирателя ПКХ превосходят аналогичные показатели сравниваемых собирателей. Например, выход и извлечение горючей массы в концентрат, а также зольность отходов флотации, при использовании ПКХ на 10-20 % больше, чем при использовании керосина и термогазойля. При сопоставимых результатах флотации угольных шламов (выход концентрата 80%) расход ПКХ меньше расхода классических собирателей. Так же наблюдается повышение селективности. Показатели технологической эффективности (формула Фоменко), учитывающему извлечение горючей массы в концентрат и извлечение золы в отходы, сравниваемых собирателей примерно одинаковые.

Сравнительные лабораторные исследования по влиянию расхода вспенивателя КОБС на технологические показатели процесса и продуктов флотации угольных шламов марки КС проведены при постоянном расходе 1,5 кг/т собирателей. Условия проведения флотационных опытов и оценка эффективности флотации шламов в каждом опыте такие же, как и в предыдущей серии опытов. Результаты флотационных опытов представлены в табл. 4.

Таблица 4

Влияние расхода КОБС на технологические показатели флотации

Расход, кг/т	Концентрат							Отходы				$A^d_{общ}$ %
	общий							+ 0,045 мм		- 0,045 мм		
	$\gamma$ , %	$A^d$ , %	E, %	C, г/л	Уст.	$K_{сеп}$	Эф	$\gamma$ , %	$A^d$ , %	$\gamma$ , %	$A^d$ , %	
<b>ПКХ</b>												
0,0	77,7	8,1	88,3	367	0,71	3,9	59,2	11,1	45,6	11,2	69,2	57,5
0,033	82,3	9,1	92,5	371	0,58	4,4	56,3	7,1	57,7	10,6	70,9	65,6
0,083	83,9	9,6	93,8	376	0,59	4,6	54,4	6,5	63,2	9,7	72,3	68,7
0,150	84,1	9,7	93,9	376	0,51	4,5	53,9	7,2	64,7	8,7	72,2	68,8
<b>Среднее</b>	<b>82,0</b>	<b>9,1</b>	<b>92,1</b>	<b>373</b>	<b>0,60</b>	<b>4,4</b>	<b>56,0</b>	<b>8,0</b>	<b>57,8</b>	<b>10,1</b>	<b>71,2</b>	<b>65,2</b>
<b>ТЕРМОГАЗОЙЛЬ</b>												
0,0	66,0	7,3	75,6	319	0,53	3,0	56,5	21,7	29,8	12,3	63,5	42,0
0,033	73,4	7,9	83,5	333	0,64	3,4	58,1	14,9	39,1	11,7	63,6	49,9
0,083	79,3	8,6	89,5	361	0,80	3,9	57,5	9,5	49,2	11,2	67,6	59,1
0,150	83,0	9,5	92,9	348	0,74	4,3	54,6	6,4	58,6	10,6	70,6	66,1
<b>Среднее</b>	<b>75,4</b>	<b>8,3</b>	<b>85,4</b>	<b>340</b>	<b>0,68</b>	<b>3,7</b>	<b>56,7</b>	<b>13,1</b>	<b>44,2</b>	<b>11,5</b>	<b>66,3</b>	<b>54,3</b>
<b>КЕРОСИН</b>												
0,0	61,9	6,7	71,4	330	0,59	3,0	56,0	25,1	27,1	13,0	62,9	39,3
0,033	71,5	7,4	81,9	325	0,65	3,4	59,3	15,6	35,0	12,9	65,0	48,6
0,083	79,2	8,4	89,6	320	0,65	4,0	58,3	10,0	48,9	10,8	69,6	59,7
0,150	83,3	9,5	93,2	338	0,70	4,4	54,7	6,7	59,6	10,0	72,2	67,2
<b>Среднее</b>	<b>74,0</b>	<b>8,0</b>	<b>84,0</b>	<b>328</b>	<b>0,65</b>	<b>3,7</b>	<b>57,1</b>	<b>14,4</b>	<b>42,7</b>	<b>11,7</b>	<b>67,4</b>	<b>53,7</b>

Из полученных результатов сравниваемых показателей можно сделать вывод, что при низких расходах КОБС значения выхода концентрата, извлечения в концентрат и содержание твердого в пенном продукте имеют более высокие значения при совместной подаче с ПКХ. При этом с увеличением расхода КОБС разница в показателях снижается и при расходе КОБС 0,15 кг/т показатели приближаются к своим максимальным значениям и сравниваются.

При более высокой зольности концентрата с собирателем ПКХ выше селективность процесса за счет большей зольности отходов флотации, при этом эффективность процесса флотации сравниваемыми реагентами отличается незначительно.

Таким образом, по результатам проведенных исследований продукт ПКХ можно рассматривать как перспективное сырье для производства реагента собирателя для флотации угля.

### Список литературы:

1. Классен В.И. Флотация углей [Текст]: В. И. Классен. - М.: ГНТИ, 1963. - 379 с.
2. Угли каменные. Стандартный метод испытания пенной флотацией [Текст]. ГОСТ 33656-2015. –Введ. 2017-04 -01. - М.: Стандартинформ, 2019. - 22 с.: ил.