

# МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЕРНЫХ, ЦВЕТНЫХ И РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ

УДК 662.74:662.765

Петухов В.Н., Яковлев С.В., Насырова К.Р

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФЛОТАЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ РЕАГЕНТОВ-СОБИРАТЕЛЕЙ ПРИ ФЛОТАЦИИ УГЛЕЙ С РАЗЛИЧНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИЕЙ ОРГАНИЧЕСКОЙ МАССЫ

**Аннотация:** В работе проведены исследования флотационной активности собирателей различного химического состава и строения при флотации углей с различной минерализацией органической массы. Установлена высокая эффективность процесса флотации при использовании в качестве реагента-собирателя технического продукта нефтепереработки «Нефрас -150/330». Высокая флотационная активность реагента «Нефрас-150/330» объясняется наличием в групповом химическом составе реагента в преобладающем количестве ароматических углеводородов. Применение «Нефрас-150/330» позволяет повысить извлечение горючей массы в концентрат на 3,1-7,6% по сравнению с использованием других реагентов-собирателей. Установлено, что использование реагента - собирателя «Нефрас-150/330» позволяет повысить зольность отходов флотации на 5,4-9,0% в зависимости от минерализации органической массы углей, поступающих на обогащение.

**Ключевые слова:** коксующийся уголь, флотационная активность, реагенты-собиратели, селективность, зольность концентрата, извлечение горючей массы.

В последние годы возрастает добыча и использование в промышленности коксующихся углей с повышенной минерализацией органической массы, флотиремость которых при применении традиционных реагентных режимов недостаточно высокая [1,2]. Состояние топливно-энергетического комплекса России во многом зависит от применения современных технологий добычи и переработки угля и эффективности использования добываемого сырья, в частности мелких фракций с применением флотационного обогащения. Это обуславливает необходимость поиска и внедрения на углеобогатительных фабриках новых, более эффективных флотореагентов для флотации углей.

Флотация - сложный процесс, являющийся совокупностью физических, химических и физико-химических явлений. В ряде исследовательских работ установлено, что флотационная активность технических продуктов нефтехимии и нефтепереработки при флотации коксующихся углей определяется групповым химическим составом и структурными особенностями химических соединений, входящих в реагенты собиратели [3-6]. Поиск новых реагентов для флотации углей различной степени метаморфизма, имеющих различную минерализацию органической массы, и разработка технологических параметров процесса флотации являются актуальной задачей.

В работе проводились исследования флотации угольной мелочи класса менее 0,5 мм, поступающей на обогащение в условиях ЦОФ «Беловская» и

технологической марки «ОС» разреза «Томусинский» с зольностью 11,2-19,4%.

При флотации угольной мелочи были исследованы следующие реагенты:

- в качестве реагентов-собирателей были использованы технический продукт нефтепереработки – легкий газойль каталитического крекинга «ЛГКК», «Нефрас - 150/330» и легкий полимер-дистиллят («ЛПД»);

- в качестве реагента-вспенивателя использовались кубовые остатки бутиловых спиртов (КОБС).

Групповой химический состав исследованных реагентов приведен в табл. 1.

Исследованием установлено, что показатели флотации углей при использовании технических продуктов нефтехимии и нефтепереработки обусловлены не только расходом реагентов – собирателей, но также групповым химическим составом реагентов.

Наиболее высокая эффективность флотации углей установлена в случае использования в качестве реагента - собирателя технического продукта нефтепереработки «Нефрас -150/330». В случае применения реагента - собирателя «Нефрас-150/330» при флотации высокозольных углей ( $A^d=19,4\%$ ) выход концентрата составил 85,2% с зольностью 9,5% при извлечении горючей массы в концентрат в количестве 95,6% (табл. 2).

Групповой химический состав исследованных реагентов

Реагент	Групповой химический состав, %масс
Легкий газойль каталитического крекинга	ароматические углеводороды - не менее 41%
	непредельные углеводороды - не более 29%
	парафины и нафтены - не более 30%
Легкий полимер-дистиллят	непредельные углеводороды - не менее 60%, арены -5-10%
Нефрас -150/330	Смесь ароматических углеводородов C <sub>9</sub> -C <sub>15</sub> с температурой кипения 150-330 °С
КОБС	Смесь алифатических спиртов, эфиров, кетонов, альдегидов -C <sub>8</sub> и более

Применение в качестве реагента - собирателя «ЛПД» привело к снижению флотируемости угольной мелочи. Выход концентрата снизился на 2,8% с одновременным снижением зольности на 1,0%. Наиболее низкие показатели флотации получены в случае использования в качестве реагента - собирателя «ЛГКК». При равном расходе реагентов использование собирателя «ЛГКК» обусловило снижение выхода концентрата на 6,0% по сравнению с использованием «ЛПД» и на 8,8% по сравнению с применением «Нефрас-150/330».

Высокая флотационная активность действия реагента - собирателя «Нефрас-150/330» объясняется его групповым химическим составом. В групповой химический состав «Нефрас-150/330» в основном входят ароматические углеводороды с различной молекулярной массой. Эти химические соединения имеют π-электроны кратных углерод – углеродных связей, за счет которых ароматические углеводороды могут взаимодействовать с полярными центрами угольной поверхности по типу донорно-акцепторного взаимодействия. Наличие подобного взаимодействия приводит не только к более прочной адсорбции химических соединений на угольной поверхности, но и повышает величину адсорбции их на угле [7-12]. Хорошие показатели флотации установлены также при использовании технического продукта нефтехимии легкого полимердистиллята (ЛПД). Это объясняется наличием в групповом химическом составе «ЛПД» в преобладающем количестве непредельных углеводородов. Увеличение адсорбции алкенов и аренов способствует повышению гидрофобизации угольной поверхности, увеличению прочности комплекса частица-пузырек и повышению флотируемости угольных частиц [13].

Повышение гидрофобизации угольной поверхности в случае применения в качестве реагентов - собирателей технических продуктов нефтепереработки, содержащих в групповом

химическом составе ароматические и непредельные углеводороды, установлены нами с использованием метода беспенной флотации в монопузырьковом аппарате Халлимонта (табл. 3).

В случае флотации углей с пониженной зольностью прослеживаются закономерности изменения флотационной активности реагентов – собирателей, полученных в процессе флотации углей с повышенной зольностью. Так, например, при флотации углей с зольностью 15,25 применение в качестве реагента - собирателя «Нефрас-150/330» выход концентрата повышается на 4,0% по сравнению с применением реагента собирателя «ЛГКК». Зольность отходов повышается на 10,9%. При флотации углей с зольностью 11,2% использование реагента собирателя «Нефрас-150/330» также оказывает положительное влияние на снижение потерь органической массы углей с отходами флотации. При равном расходе реагентов - собирателей применение реагента «Нефрас-150/330» позволило повысить извлечение горючей массы в концентрат с 93,4 до 95,7%, а зольность отходов флотации повысилась на 10,0%. (см. табл.2). Однако следует указать, что чем ниже минерализация органической массы углей, тем меньше необходим расход реагентов - собирателей для получения высокого извлечения горючей массы углей в концентрат.

Повышение скорости флотации угля с использованием в качестве реагента-собирателя «Нефрас-150/330» объясняется также тем, что ароматические углеводороды за счет повышенной полярности по сравнению с алканами хорошо диспергируются в воде с образованием более тонкодисперсной эмульсии. Это обеспечивает повышенную вероятность образования комплекса частица-пузырек с высокой прочностью закрепления угольных частиц на пузырьках воздуха.

Таблица 2

Влияние группового химического состава реагентов – собирателей на эффективность флотации углей различной минерализации

Реагентный режим					Продукты флотации	Показатели флотации		
Соби-ратель	Вспени-ватель	Расход реагентов, кг/т				Выход γ, %	Золь-ность <sup>А</sup> , %	Ег.м, %
		Собира-теля	Вспени-вателя	Об-щий				
Нефрас	КОБС	1,380	0,100	1,480	концентрат	85,2	9,5	95,6
					отходы	14,8	75,8	
ЛПД	КОБС	1,400	0,100	1,520	концентрат	82,4	8,5	92,5
					отходы	17,6	70,4	
ЛГКК	КОБС	1,400	0,100	1,500	концентрат	76,4	7,2	88,0
					отходы	23,6	58,9	
					исходный	100,0	19,4	
ЛГКК	КОБС	1,190	0,07	1,260	концентрат	82,7	7,4	90,3
					отходы	17,3	52,5	
Нефрас	КОБС	1,200	0,07	1,270	концентрат	86,7	7,8	94,3
					отходы	13,3	63,4	
					исходный	100,0	15,2	
ЛГКК	КОБС	0,96	0,07	1,030	концентрат	88,0	5,7	93,4
					отходы	12,0	51,5	
Нефрас	КОБС	0,91	0,07	0,980	концентрат	90,3	5,9	95,7
					отходы	9,7	60,5	
					исходный	100,0	11,2	

Таблица 3

Исследование гидрофобизационной способности реагентов - собирателей в аппарате Халлимонда

Реагент– собиратель	Выход всплывшего продукта, %, при концентрации собирателя, воде, мг/мл		
	0,2	0,4	0,6
ЛГКК	23	36	48
ЛПД	34	51	65
Нефрас	43	67	75



### Заключение

Исследованием установлено, что наиболее высокой флотационной активностью обладают технические продукты нефтепереработки, содержащие в групповом химическом составе химические соединения, имеющие в молекуле  $\pi$ -электроны кратных углерод-углеродных связей, а именно ароматические и непредельные углеводороды. Применение в качестве реагента - собирателя «Нефрас-150/330» позволило, не зависимо от степени минерализации органической массы углей, поступающих на обогащение, повысить извлечение горючей массы углей в концентрат на 2,3-7,6% по сравнению с использованием в качестве реагента - собирателя технического продукта «ЛГКК». При этом установлено, что чем выше минерализация органической массы углей, тем большая разница наблюдается в эффективности использования реагентов «Нефрас-150/330» и «ЛГКК». Повышенная флотационная активность реагента - собирателя «Нефрас-150/330» объясняется повышенной адсорбцией реагента на угольной поверхности и ее более высокой гидрофобизацией, что обеспечивает увеличение извлечения горючей массы углей в концентрат и снижение потерь органической массы углей с отходами флотации.

### Список литературы

1. Кубак Д.А. Рациональное использование природных ресурсов путем разработки высокоэффективных реагентных режимов при флотации углей // Проблемы недропользования: материалы V Всероссийской молодежной научно-практической конференции 8-11 февраля 2011г. Екатеринбург, - 2011.
2. Петухов В.Н. Основы теории и практика применения флотационных реагентов при обогащении углей для коксования. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун – та им. Г.И. Носова, 2016. – 453с.
3. Петухов В.Н., Юнаш А.А. Разработка новых реагентных режимов флотации углей // Кокс и химия. - 1998. № 3. - С. 5-8.
4. Сирченко А.С., Петухов В.Н. Снижение загрязнения окружающей среды при флотации каменных углей путем разработки новых реагентных режимов // Проблемы повышения экологической безопасности производственно-технических комплексов промышленных регионов: сб. науч. трудов всеросс. конф. Магнитогорск: МГТУ, 2004. С. 135-138.
5. Петухов В.Н., Кубак Д.А., Семенов Д.Г. Исследование влияния группового химического состава комплексных реагентов на эффективность флотации углей // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. №4. 2013. С.
6. Петухов В.Н., Свечникова Н.Ю. (Осина Н.Ю.). Повышение эффективности процесса флотации угля с использованием нового реагента-собирателя // Материалы 64-й научно-технической конференции по итогам научно-исследовательских работ за 2004-2005 гг.: сб. докл. – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2006. – Т.1.- С.111-113.
7. Петухов В.Н., Свечникова Н.Ю. Исследование и разработка нового реагентного режима флотации углей на основе изучения термодинамических параметров адсорбции углеводородов на угольной поверхности // VI Конгресс обогатителей стран СНГ: материалы Конгресса. Т.1. - М.: Альтекс, 2007. - С.149-150.
8. 8.Разработка нового реагентного режима флотации углей на основе результатов изучения термодинамических параметров адсорбции углеводородов на угольной поверхности Петухов В.Н., Свечникова Н.Ю., Юнаш А.А., Саблин А.В. // Кокс и химия. - 2007. - №9. - С.6-9.
9. Петухов В. Н., Кубак Д. А. Разработка реагентного режима флотации угольных шламов на основе изучения флотационной активности чистых химических соединений // Сб. тезисов VIII Конгресса обогатителей стран СНГ. – 2011. – С.23-25.
10. Исследование и разработка нового реагентного режима флотации углей на основе термодинамических параметров адсорбции углеводородов на угольной поверхности /В.Н. Петухов, Н.Ю Осина, А.А. Юнаш, А.В. Саблин // Башкирский химический журнал.- 2007. –№3. –Т.14.- С.69-71.
11. Саблин А.В. Исследование флотуемости углей различной минерализации органической массы с использованием нового реагента-собирателя / Петухов В.Н., Саблин А.В., Лавриненко А.А., Юнаш А.А.// Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, 2008. №2. с. 31 – 33.
12. Свечникова Н.Ю. Обоснование выбора собирателей из группы алкенов изомерного строения для интенсификации флотации угля: автореф. дис. канд. техн. наук. – М, 2008. – 21 с.

**Сведения об авторах**

**Петухов Василий Николаевич** - д-р техн. наук, проф. ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Магнитогорск, Россия. E-mail: chief.petuhov2013@yandex.ru

**Яковлев Сергей Викторович** - студент Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. Магнитогорск, Россия.

**Насырова Ксения Рафиковна** - студент Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. Магнитогорск, Россия.

---

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

---

**RESEARCH OF FLOTATION ACTIVITY OF ABSORBENT REAGENTS IN FLOTATION OF COALS WITH DIFFERENT MINERALIZATION OF ORGANIC MASS**

**Petukhov Vasily Nicholaevich**- D.Sc., Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

**Abstract.** *The flotation activity of collectors of different chemical composition and structure during the flotation of coal with different mineralization of organic matter carried out. High efficiency of the flotation process, used as a reagent-collector of a technical product of oil refining "Nefras -150/330" is installed. The high flotation activity of the reagent Nefras-150/330 is due to the presence in the group chemical composition of the reagent in the predominant amount of aromatic hydrocarbons. The use of "Nefras-150/3302" allows to increase the extraction of combustible mass in the concentrate by 3.1-7.6% compared with the use of other collector reagents. It has been established that the use of the reagent - collector "Nefras-150/330" allows to increase the ash content of flotation waste by 5.4-9.0%, depending on the mineralization of the organic mass of coal supplied to enrichment.*

**Keywords:** *coking coal, flotation activity, collector reagents, selectivity, concentrate ash, extraction of combustible mass.*

---

Ссылка на статью:

Петухов В.Н., Яковлев С.В., Насырова К.Р. Исследование флотационной активности реагентов-собираателей при флотации углей с различной минерализацией органической массы // Теория и технология металлургического производства. 2018. №4(27). С. 27-31.  
Petukhov V.N., Yakovlev S.V., Nasyrova K.R. Research of flotation activity of absorbent reagents in flotation of coals with different mineralization of organic mass. *Teoria i tehnologiya metallurgiceskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2018, vol. 28, no. 4, pp.27-31.