

УДК 622.765.063:544.182.37

DOI: 10.15372/ChUR2021337

Совершенствование реагентного режима флотации сфлуктурированных углей с использованием реагента-модификатора

В. Н. ПЕТУХОВ, Н. Ю. СВЕЧНИКОВА

*Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова,
Магнитогорск (Россия)**E-mail: chief.petuhov2013@yandex.ru*

Аннотация

Изложены результаты исследований по совершенствованию режима флотации сфлуктурированных углей за счет применения нового реагента-модификатора “Синтерол”. В качестве исходных углей выступали угли бассейнов Российской Федерации с различной минерализацией органической массы. При подаче реагента-модификатора “Синтерол” в количестве $(1-3) \cdot 10^{-3}$ кг/т и одновременном снижении общего расхода реагентов в среднем на 13,0 % (с 3,000 до 2,613 кг/т) выход концентрата увеличился на 2,5–8,5 %, зольность концентрата снизилась на 2,7–3,0 %, извлечение горючей массы в концентрат возросло на 2,9–7,1 %. Зольность отходов возросла на 2,9–12,3 % и составила 72,6–82,0 %. Снижение зольности концентрата и повышение зольности отходов с увеличением подачи реагента-модификатора обусловлено его флокулирующим действием на минеральные частицы пульпы, что является важным при флотации труднообогатимой угольной мелочи, содержащей большое количество глинистых веществ. Выявлена эффективность реагента-модификатора “Синтерол” при малом его расходе за счет преимущественного укрупнения частиц минеральных примесей и снижения их флотуемости совместно с органической массой углей.

Ключевые слова: уголь, флотация, реагент-модификатор, Синтерол

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время на углеобогатительных фабриках (УОФ) широко используются флокулянты для сгущения угольных пульп в операции флотации углей [1, 2].

Процессы сгущения угольной мелочи перед флотацией, обезвоживанием и фильтрацией продуктов флотационного обогащения протекают очень медленно. Для ускорения процесса сгущения угольных пульп перед флотацией используются флокулянты различной природы, например: неорганические, высокомолекулярные органические, а также высокомолекулярные синтетические флокулянты в количестве от $5 \cdot 10^{-2}$ до 0,2 кг/т угля, которые обеспечивают повышение скорости осаждения и осветления угольных пульп в десятки и сотни раз. На

ряде обогатительных фабрик процесс флокуляции используют как для осаждения угольной мелочи, отправляемой на флотационное обогащение, так и для обогащения угольных шламов. Установлена возможность обогащения тонкозернистых шламов с использованием флокуляционно-флотационного способа [3–5].

В работе [6] приведены результаты исследований по обогащению ультратонких угольных шламов методом селективной флокуляции с применением гидрофобного полимера FR-7. Этот метод основан на предпочтительной адсорбции органического флокулянта на угольных частицах, доведенных до тонины, близкой к коллоидной фазе. Высокая степень раскрытия угольных частиц обеспечивает возможность получения сверхчистых концентратов (зольностью менее 3 %).

В работе [7] с целью внедрения эффективных депрессоров и активаторов, применяемых при флотации угля, выполнены экспериментальные исследования влияния на флотацию угля коагулянтов: полимеров полиакриламида (ПАА) и полиэтиленоксида (ПЭО). Установлено, что с повышением концентрации ПАА до $(5-10) \cdot 10^{-6}$ кг/кг количество сфлотированного угля снижается практически до нуля, т. е. проявляется явно депрессирующее действие этого флокулянта. Однако в случае ПЭО эффект флотации вначале снижается, а затем возрастает и с ростом концентрации от $1 \cdot 10^{-5}$ до $6 \cdot 10^{-5}$ кг/кг практически сохраняется на уровне 45 % извлечения. Добавка ПАА не вызывает существенного изменения размеров воздушных пузырьков. Напротив, в случае присутствия ПЭО происходит образование более крупных воздушных пузырьков, что объясняется адсорбцией метилизобутилкарбинола (МIBC) на границе раздела “жидкость – газ” под влиянием молекул ПЭО. Установлено, что присутствие неионного полимера ПАА полностью депрессирует угольную флотацию. Частично гидрофобный неионный полимер ПЭО также подавляет флотацию угля, но его депрессирующее действие снижается при больших концентрациях полимера.

Представляет интерес работа [8], в которой исследовалась эффективность флокуляции при сгущении угольных суспензий по скорости осаждения и содержанию твердого в осветленном слое. Установлено, что эффективность действия флокулянта по скорости осаждения частиц увеличивается в ряду: ВПК 402 < Mangafloc 525 < Praestol 2500. Эффективность флокулянтов при уменьшении содержания твердого в осветленном слое увеличивается в последовательности: ВПК 402 > Магнафлок 525 > Праестол 2500. Установлено, что флокуляция оказывает благотворное влияние на флотационное извлечение только в том случае, если размеры образующихся агрегатов не превышают некоторого критического значения, определяемого силой адгезии единичных частиц к пузырьку, размером частиц и их плотностью.

При этом выявлено, что увеличение концентрации флокулянта приводит к ухудшению показателей флотации за счет образования флокул избыточного размера и гидрофилизации поверхности. По полученным авторами данным можно сделать вывод, что при малых расходах флокулянта он выполняет роль реагента-модификатора, флокулируя минеральную часть угля, что

улучшает разделение минеральной и органической массы углей.

Однако на УОФ для сгущения угольной пульпы расход флокулянтов составляет $(5 \cdot 10^{-2})-0.2$ кг/т угля для обеспечения высокой скорости осветления суспензии. С увеличением расхода реагента-флокулянта происходит ухудшение процесса флотации, что требует разработки эффективных реагентных режимов, обеспечивающих улучшение флотиремости сфлюкулированной угольной мелочи.

В последние годы проводились углубленные исследования по совершенствованию флотации угольных частиц за счет улучшения реагентного режима, применения дополнительных реагентов, модификаторов (активаторов). Активаторы используются в случаях, когда угольная поверхность не может активно взаимодействовать с собирателем либо минералы задепрессированы [9]. При адсорбции реагенты-активаторы изменяют физико-химические свойства поверхности углей, в результате чего создаются условия для закрепления собирателей и активной флотации углей.

Использование реагентов-модификаторов (активаторов) способствует изменению физико-химических свойств поверхности углей, улучшению селективности процесса, а также уменьшению расхода реагентов-собирателей и реагентов-вспенивателей, повышая экологическую безопасность флотационного метода обогащения [10, 11]. Наиболее существенные работы проведены исследователями по изучению влияния реагентного режима на процессы интенсификации флотации углей [12, 13]. Показана эффективность применения дополнительных реагентов-модификаторов для улучшения флотиремости сфлюкулированной угольной мелочи.

Цель данной работы – совершенствование реагентного режима флотации сфлюкулированных углей с использованием нового реагента-модификатора “Синтерол”.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Материалы

В работе были исследованы:

1) в качестве реагента-модификатора:

– “Синтерол” – технический продукт нефтехимии, μ -изононилфеноксидекоэтилен-оксидокарбонат натрия (анионоактивный водно-солевой раствор карбоксиметилатов оксиэтили-

рованного изононилфенола), содержащий в молекуле анионные и катионные структуры. Общая формула: $\text{H}_{19}\text{C}_9\text{-C}_6\text{H}_4\text{-O-(C}_2\text{H}_4\text{O)}_n\text{COONa}$, где $n = 10\text{--}12$;

2) в качестве реагентов-собираелей:

– ЛГКК (легкий газойль каталитического крекинга) – сырье для производства технического углерода (сажи). Получается путем термического крекинга каталитических газойлей, газойлей термокрекинга и замедленного коксования. В групповом химическом составе реагента присутствуют более 30 % моно- и полициклических ароматических углеводородов, до 35 % непредельных углеводородов, а также до 20 % предельных и нафтеновых углеводородов;

– ТПД (тяжелый полимер-дистиллят). В групповой химический состав реагента входят в основном непредельные углеводороды от $\text{C}_{12}\text{H}_{24}$ до $\text{C}_{17}\text{H}_{34}$ с изостроением углеводородных радикалов;

– комплексный реагент “ГФО” – декобальтизированный кубовый остаток гидроформирования пропилена, являющийся одновременно и вспенивателем, и собирателем. Получается после отделения изомасляных альдегидов из продуктов гидроформирования пропилена по методу оксосинтеза.

Групповой химический состав ГФО:

n-бутаналь (масляный альдегид) – 1–4 %,

n-бутиловый спирт – 1–3 %,

изомасляный альдегид – 0.5–2 %,

толуол – 1.5–2 %,

высокомолекулярные соединения (в т. ч. продукты этерификации масляных и нафтеновых кислот со спиртами) – продукты взаимодействия альдегидов с альдегидами, эфиры гликолей, ацетали и полиэфиры альдегидов – 90–95 %.

Физико-химические свойства ГФО: плотность при 20 °С – 0.91–0.94 г/см³, температура начала кипения – 130–148 °С, температура конца кипения – 370–380 °С.

3) в качестве реагентов-вспенивателей:

– “Кэтгол” – продукт нефтехимии, кубовый остаток ректификации 2-этилгексанола. Содержит в групповом химическом составе 2-этилгексанол и алифатические кетоны, альдегиды, эфиры;

– КОБС (кубовые остатки производства бутиловых спиртов). Групповой химический состав реагента представлен в основном алифатическими спиртами, а также в незначительных количествах альдегидами, кетонами и эфирами;

4) в качестве реагента-флокулянта:

– Magnafloc (M-10) – сополимер акриламида, рабочий диапазон рН = 5–11.

При проведении промышленных испытаний использовались реагенты, применяемые ООО “ММК-Уголь”:

“Флотек-1” – комплексный реагент в виде однородной жидкости желто-коричневого цвета без механических примесей, содержащий аполлярную смесь средней фракции перегонки нефти и нефтепродуктов;

“Флотек-2” – реагент-вспениватель, групповой химический состав которого представлен смесью поверхностно-активных химических соединений и углеводородов.

Методика изучения флотации

Флотацию сфлюкулированных углей изучали с помощью лабораторной установки – флотационной механической лабораторной машины 240ФЛ-А с объемом камеры 500 см³. Уголь, предназначенный для разделения, загружался в камеру в виде пульпы, где аэраторы засасывают и распределяют воздух по объему камеры, насыщая пульпу воздухом и обеспечивая тем самым процесс флотации. При вращении импеллера происходит интенсивное перемешивание пульпы и пенообразование за счет подсоса воздуха. Скорость вращения импеллера (1660 об/мин) и температура пульпы (20 °С) для серии опытов сохранялись постоянными. Расход подаваемого воздуха регулировался вентилем ротаметра и также поддерживался на одном уровне.

Флотацию осуществляли согласно выбранной схеме флотации (рис. 1). Полученный концентрат сушили, затем определяли его зольность по ГОСТ 11022–95.

Промышленные испытания проводили в условиях ЦОФ “Беловская” ООО “ММК-Уголь” на промышленных установках МФУ-12-6 с производительностью 350 м³/ч и Wemco 1441/1641 с производительностью 450 м³/ч.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Лабораторные исследования

Известно [14–22], что при флотации сфлюкулированных углей, в отличие от углей, которые не обрабатываются флокулянтами, выход концентрата уменьшается из-за повышения гидрофильности поверхности частиц угля. Нами проведены исследования по влиянию расхода флокулянта на показатели флотации угольной мелочи ОАО “Северсталь”. Выявлено, что сум-

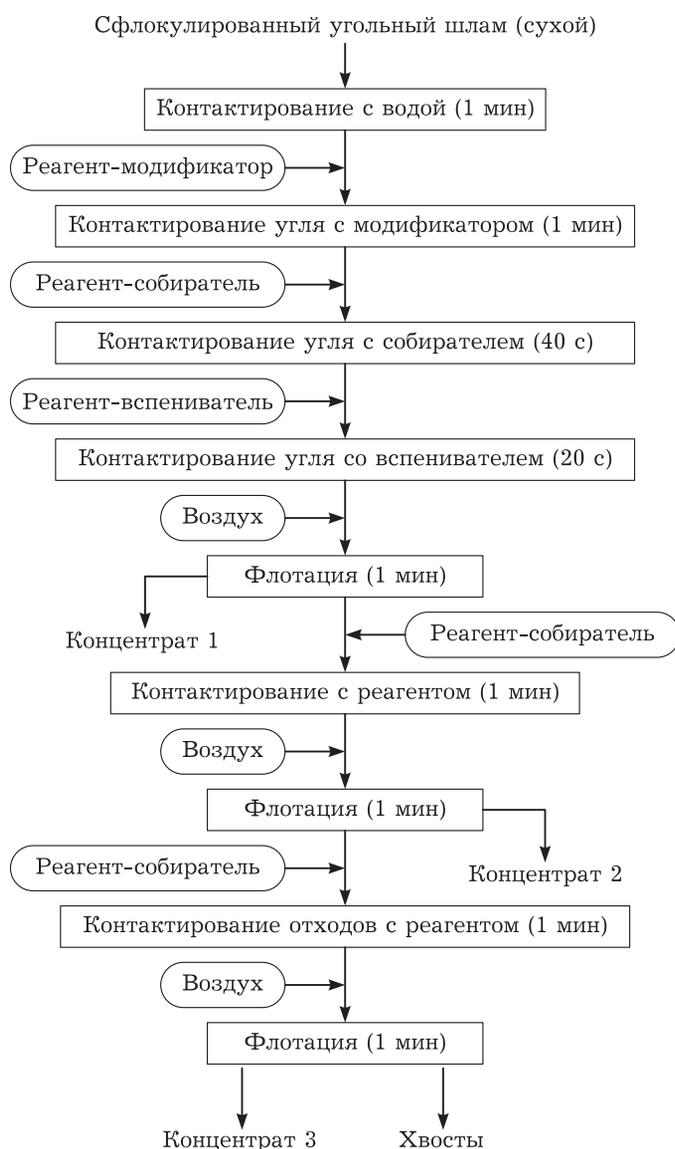


Рис. 1. Схема флотации сфлуктурированного угля на лабораторной установке.

марный выход концентрата уменьшается при увеличении расхода флокулянта М-10 от $3.3 \cdot 10^{-2}$ до 0.1 кг/т угля. При этом установлено, что чем более эффективен реагент-собиратель, тем менее заметно снижение выхода концентрата сфлуктурированного угля по сравнению с флотацией несфлуктурированного шлама. Так, в случае использования в качестве реагента-собирателя ТПД при подаче в процесс флотации флокулянта в количестве от $3.3 \cdot 10^{-2}$ до 0.1 кг/т угля выход концентрата снижается с 92 до 89.5 %. Применение же ЛГКК приводит к снижению выхода концентрата с 86.8 до 80.8 %. Подобные закономерности снижения флотиремости угля при подаче флокулянта в процесс флотации установлены нами и при флотации углей марки

ОС (ЦОФ “Сибирь”). Однако в этом случае снижение выхода концентрата не зависело от типа используемого реагента-собирателя.

Для улучшения флотиремости сфлуктурированных угольных пульп и снижения потерь органической массы углей в процессе флотации использовали дополнительный новый реагент-модификатор “Синтерол”. Введение реагента-модификатора в процесс флотации осуществлялось перед подачей реагента-собирателя (см. рис. 1).

Расход модификатора изменялся в пределах от $5 \cdot 10^{-4}$ до 10^{-2} кг/т для выяснения закономерностей влияния Синтерола на эффективность процесса флотации. В качестве реагентов-собирателей применялись технические продукты

ТАБЛИЦА 1

Влияние расхода модификатора “Синтерол” на эффективность процесса флотации углей марки ОС (ЦОФ “Сибирь”)

Реагентный режим				Расход реагентов, кг/т				Выход концентрата, %	Зольность концентрата, %	Извлечение горючей массы в концентрат, %	Извлечение минеральной массы в отходы, %	Коэффициент селективности
Собиратель	Вспениватель	Флокулянт	Модификатор	Собиратель	Вспениватель	Флокулянт	Модификатор					
ЛГКК	КОБС	0	0	1.08	$6 \cdot 10^{-2}$	0	0	86.7	6.3	90.9	39.1	0.596
		M-10	0			$3.3 \cdot 10^{-2}$	0	81.3	6.1	85.6	31.0	0.515
		Синтерол	0			$5 \cdot 10^{-4}$	0	87.7	6.9	91.6	39.6	0.602
						10^{-3}	0	88.4	6.9	92.1	40.4	0.610
						$2 \cdot 10^{-3}$	0	88.0	6.9	92.0	39.3	0.601
						10^{-2}	0	81.0	6.6	84.9	29.3	0.499
		Синтерол	0			0.1	0	80.7	7.4	83.9	25.7	0.464
						$5 \cdot 10^{-4}$	0	88.7	7.5	92.0	37.3	0.586
						10^{-3}	0	90.5	7.8	93.7	40.8	0.618
						$2 \cdot 10^{-3}$	0	89.3	7.5	92.7	39.0	0.602
10^{-2}	0			86.3	7.8	89.3	30.3	0.520				
0	0			80.7	7.4	83.9	25.7	0.464				
ТПД	0	0	0	1.13	0	0	0	92.0	7.3	95.5	50.2	0.693
		M-10	0			$3.3 \cdot 10^{-2}$	0	90.0	7.5	93.2	39.2	0.604
		Синтерол	0			10^{-3}	0	91.7	7.7	94.8	43.8	0.644
						10^{-2}	0	89.3	8.4	91.7	30.1	0.526
						10^{-3}	0	93.0	8.5	95.3	40.6	0.622

нефтепереработки ЛГКК и ТПД, в качестве флокулянта – М-10.

В табл. 1 представлены данные по влиянию расхода реагента-модификатора “Синтерол” на эффективность процесса флотации углей марки ОС (ЦОФ “Сибирь”). Видно, что при расходе флокулянта $3.3 \cdot 10^{-2}$ кг/т и использовании реагента-собирателя ЛГКК и модификатора “Синтерол” (в количестве от $5 \cdot 10^{-4}$ до 10^{-3} кг/т) наблюдается увеличение выхода концентрата с 81.3 до 87.7–90.5 % соответственно (см. табл. 1). При увеличении расхода реагента-модификатора до 10^{-2} кг/т наблюдается снижение выхода концентрата до 81.0 %. Подобные закономерности получены и при более высоком расходе флокулянта – 0.1 кг/т. В этом случае при подаче реагента-модификатора в количестве от $5 \cdot 10^{-4}$ до 10^{-3} кг/т выход концентрата увеличивается с 80.7 до 88.7–90.5 % соответственно. Дальнейшее увеличение расхода Синтерола до 10^{-2} кг/т приводит к снижению выхода концентрата до 86.3 %.

В случае флотации углей ЦОФ “Сибирь” с использованием реагента-собирателя ТПД при расходе флокулянта $3.3 \cdot 10^{-2}$ кг/т и добавлении Синтерола в количестве 10^{-3} кг/т выход кон-

центрата увеличивается незначительно и составляет 1.7 %, а зольность концентрата практически не изменяется (9.7 против 9.5 %). При флотации сфлуктурированных углей с более высоким расходом флокулянта (0.1 кг/т) добавление Синтерола в количестве 10^{-3} кг/т обеспечило увеличение выхода концентрата на 3.7 % (с 89.3 до 93.0 %). При этом зольность концентрата не изменилась (см. табл. 1).

Исходя из полученных данных по флотации сфлуктурированных углей марки ОС (ЦОФ “Сибирь”) можно заключить, что использование оптимального расхода реагента-модификатора “Синтерол” ($5 \cdot 10^{-4}$)–($2 \cdot 10^{-3}$) кг/т позволяет не только компенсировать потери органической массы с отходами флотации в результате флокуляции угольных пульп, но и получить более высокий выход концентрата, чем при флотации углей, которые не обрабатывали флокулянтами. Лучшие результаты флотации наблюдались при расходе реагента-модификатора 10^{-3} кг/т.

Подобные закономерности по улучшению флотуемости сфлуктурированных углей прослеживаются и в случае флотации углей ПАО “Северсталь” при использовании реагента-модификатора “Синтерол” (табл. 2).

ТАБЛИЦА 2

Влияние расхода модификатора “Синтерол” на эффективность процесса флотации шихты ПАО “Северсталь” после флокуляции

Расход реагентов, кг/т					Продукты	Показатели флотации, %		
Собиратель	Вспениватель	Модификатор	Флокулянт	Общий		Выход	Зольность	Извлечение горючей массы в концентрат
1.200	$6.6 \cdot 10^{-2}$	0	0	1.266	Концентрат	70.0	10.6	73.8
					Отходы	30.0	25.9	
1.200	$6.6 \cdot 10^{-2}$	0	10^{-2}	1.276	Концентрат	65.7	8.8	70.7
					Отходы	34.3	27.5	
1.200	$6.6 \cdot 10^{-2}$	$0.5 \cdot 10^{-3}$	10^{-2}	1.2765	Концентрат	60.7	9.9	64.5
					Отходы	39.3	23.4	
1.200	$6.6 \cdot 10^{-2}$	$1.0 \cdot 10^{-3}$	10^{-2}	1.277	Концентрат	62.3	7.7	67.9
					Отходы	37.7	27.6	
1.200	$6.6 \cdot 10^{-2}$	$3.0 \cdot 10^{-3}$	10^{-2}	1.279	Концентрат	67.3	7.5	73.4
					Отходы	32.7	31.0	
					Исходный	100.0	15.2	

ТАБЛИЦА 3

Влияние расхода модификатора “Синтерол” на эффективность процесса флотации исходного питания ЦОФ “Беловская”

Расход реагентов, кг/т					Продукты флотации	Показатели флотации, %		
Собиратель	Вспениватель	Модификатор	Флокулянт	Общий		Выход	Зольность	Извлечение горючей массы в концентрат
1.200	$6.6 \cdot 10^{-2}$	0	0	1.266	Концентрат	87.3	10.0	96.6
					Отходы	12.7	78.5	
1.200	$6.6 \cdot 10^{-2}$	0	$3.3 \cdot 10^{-2}$	1.299	Концентрат	83.3	9.6	92.6
					Отходы	16.7	64.1	
1.200	$6.6 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$3.3 \cdot 10^{-2}$	1.2995	Концентрат	86.7	8.4	97.7
					Отходы	13.3	85.8	
1.200	$6.6 \cdot 10^{-2}$	10^{-3}	$3.3 \cdot 10^{-2}$	1.300	Концентрат	84.7	9.5	94.3
					Отходы	15.3	69.6	
1.200	$6.6 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$3.3 \cdot 10^{-2}$	1.302	Концентрат	76.7	9.1	85.7
					Отходы	23.3	50.3	
					Исходный	100.0	18.7	

Для выяснения закономерности влияния Синтерола на эффективность процесса флотации расход реагента-модификатора изменялся в пределах от $5 \cdot 10^{-4}$ до $3 \cdot 10^{-3}$ кг/т.

В качестве реагента-собирателя применялся технический продукт “ГФО”, реагента-вспенивателя – “Кетгол”, а в качестве флокулянта – М-10. Выявлено, что в случае использования реагента-модификатора “Синтерол” в количестве $3 \cdot 10^{-3}$ кг/т при флотации сфлуктурированной угольной мелочи выход концентрата повышается с 65.7 до 67.3 %, извлечение горючей массы в концентрат увеличивается с 70.7 до 73.4 %. При этом наблюдается улучшение селективности процесса флотации: зольность концентрата снижается с 8.8 до 7.5 %.

Улучшение показателей флотации сфлуктурированных углей в случае использования реагента-модификатора “Синтерол” установлено нами при исследовании флотации угольной мелочи, поступающей на флотацию в условиях ЦОФ “Беловская” ООО “ММК-Уголь”.

Из данных табл. 3 следует, что использование оптимального расхода модификатора “Синтерол” в количестве $(5 \cdot 10^{-4})-(10^{-3})$ кг/т позволяет повысить выход концентрата с 83.3 до 84.7–86.7 % и снизить его зольность с 9.6 до 9.5–8.4 %. Наиболее высокие показатели флотации получены при расходе модификатора $5 \cdot 10^{-4}$ кг/т.

Причинами повышения флотиремости угля и улучшения селективности процесса флотации при использовании реагента-модификатора

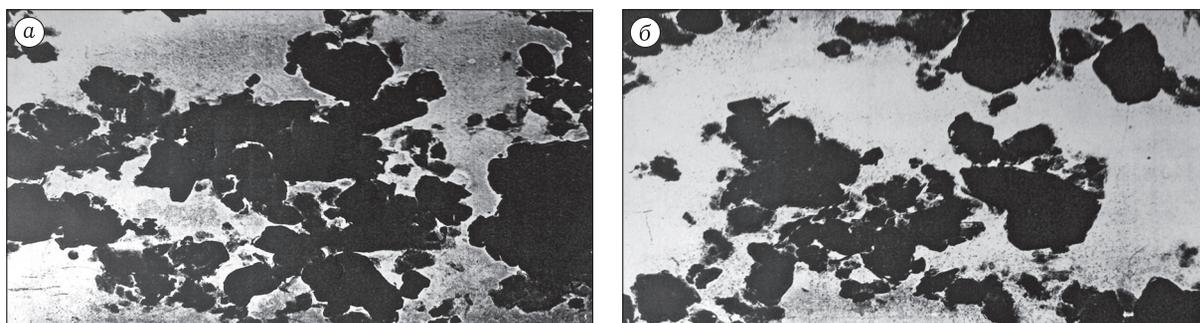


Рис. 2. Микрофотографии флотоконцентрата с подачей реагента-модификатора “Синтерол” в процесс флотации (а) и без него (б).

“Синтерол” являются флокуляция минеральной и органической массы углей, изменение поверхностного натяжения и электропроводности водных растворов, обеспечивающих гидрофобизацию угольной поверхности и, как следствие, прочность комплекса частица–пузырек [10]. Применяя метод электронной микроскопии, удалось подтвердить изменение характера флокуляции угольных частиц при использовании реагента-модификатора. В случае подачи модификатора “Синтерол” в процесс флотации повышается размер угольных флокул (рис. 2). Рост размера флокул при подаче модификатора оказывает положительное влияние на скорость флотации и увеличение выхода флотоконцентрата.

Кроме того, исследуемый модификатор “Синтерол” является поверхностно-активным веществом, адсорбция макромолекул которого на поверхности частиц угля при оптимальном расходе модификатора осуществляется за счет взаимодействия его функциональных групп с кислородсодержащими группами органической массы угля, а также с адсорбированными на угольной поверхности молекулами флокулянта, имеющими свободные гидрофильные сегменты. Эти взаимодействия носят, по-видимому, электростатический характер как при образовании водородной связи.

При этом макромолекулы реагента-модификатора ориентируются функциональными гидрофильными группами в сторону угольной поверхности, а аполярными (углеводородные радикалы) – в сторону жидкой фазы, что приводит к дезинтеграции молекулярных ассоциатов воды у поверхности флокул. Другими словами, улучшение флотуемости сфлуктурированных углей объясняется повышением гидрофобности угольных флокул за счет взаимодействия молекул модификатора с активными полярными центрами флокулянта, что обеспечивает разрыхление

гидратного слоя на поверхности угольных флокул. Также при введении в процесс флотации реагента-модификатора снижается вероятность отрыва пузырька воздуха от частицы при возникновении отрывающих усилий в пульпе, что повышает извлечение последних в концентрат. При использовании повышенного расхода модификатора происходит перераспределение его полярных групп вследствие полимолекулярной адсорбции. Это приводит в свою очередь к снижению гидрофобности угольной поверхности и, следовательно, к снижению выхода флотоконцентрата.

Отметим, что флотационная активность собирателей при подаче реагентов-модификаторов в процесс флотации повышается вследствие улучшения их эмульгирования в воде и повышения их адсорбции на поверхности частиц угля [11, 12]. Действие аполярных собирателей в воде улучшается с возрастанием дисперсности их эмульсий за счет увеличения поверхности контакта с углем. Добавка “Синтерол” приводит к увеличению дисперсности собирателя, что способствует увеличению числа столкновений частиц собирателя с угольными частицами и повышению флотуемости угольных частиц. Кроме того, увеличение дисперсности эмульсии собирателя и его количества в объеме угольной пульпы улучшает процесс адсорбции собирателя на поверхности угля, и, как следствие, наблюдается рост выхода концентрата и улучшение его качества.

Таким образом, исследование флотуемости угольной мелочи различной минерализации с подачей в процесс флотации реагента-модификатора “Синтерол” позволило выявить улучшение показателей флотации. При введении реагента-модификатора в количестве $(5 \cdot 10^{-4}) - (2 \cdot 10^{-3})$ кг/т выход концентрата сфлуктурированных углей повышается при улучшении селективности про-

ТАБЛИЦА 5

Показатели флотации промышленных испытаний углей со средней зольностью 28.0 %

Время отбора, ч	Производительность, т/ч	Плотность, кг/м ³	Объем пульпы, м ³ /ч	Технологический режим				Показатель флотации							
				Расход реагентов, кг/т				Зольность исходного питания, %	Выход концентрата, %	Зольность концентрата, %	Выход отходов, %	Зольность отходов, %	E _{г.м.} в к-т, %	E _{м.ч.} в отходы, %	Коэффициент селективности
Собирабель	Вспениватель	Модификатор	Общий	Выход концентрата, %	Зольность концентрата, %	Выход отходов, %	Зольность отходов, %								
Без модификатора															
09.00	35	133	262	2.55	0.15	0	2.700	29.7	72.1	12.7	27.5	73.7	89.5	69.3	0.787
С модификатором															
12.00	32	123	259	2.61	0.16	0.003	2.773	29.6	72.2	10.7	27.8	78.8	91.6	74.0	0.823
14.00	30	117	255	2.66	0.16	0.003	2.823	25.9	77.3	9.4	22.7	82.2	94.5	72.0	0.825
16.00	37	151	247	2.31	0.14	0.003	2.453	27.7	75.9	9.1	24.1	86.2	95.4	75.0	0.846
18.00	41	159	257	2.27	0.14	0.003	2.413	28.9	72.8	9.5	27.2	80.9	92.7	76.1	0.840
Среднее	35	137.5	254.5	2.46	0.15	0.003	2.615	28.0	74.6	9.7	25.4	82.0	93.6	74.3	0.833

Примечание. Обозн. см. табл. 4.

ТАБЛИЦА 6

Показатели флотации промышленных испытаний углей со средней зольностью 23.25 %

Время отбора, ч	Производительность, т/ч	Плотность, кг/м ³	Объем пульпы, м ³ /ч	Технологический режим				Показатель флотации							
				Расход реагентов, кг/т				Зольность исходного питания, %	Выход концентрата, %	Зольность концентрата, %	Выход отходов, %	Зольность отходов, %	E _{г.м.} в к-т, %	E _{м.ч.} в отходы, %	Коэффициент селективности
Собирабель	Вспениватель	Модификатор	Общий	Выход концентрата, %	Зольность концентрата, %	Выход отходов, %	Зольность отходов, %								
Без модификатора															
12.00	32	131	244	2.85	0.15	0	3.000	29.9	70.0	10.8	30.0	74.4	89.1	74.6	0.815
С модификатором															
14.00	35	132	250	2.86	0.13	0.003	2.993	26.0	73.8	7.8	26.2	77.3	92.0	77.9	0.846
15.00	37	144	252	2.67	0.14	0.003	2.813	22.4	77.7	7.1	22.3	75.8	92.9	75.5	0.837
16.00	33	127	259	2.0	0.10	0.003	2.103	22.8	77.6	8.4	22.4	72.8	92.0	71.5	0.811
18.00	39	140	240	2.43	0.11	0.003	2.543	21.8	77.0	9.0	23.0	64.6	89.6	68.2	0.781
Среднее	36	135.8	250	2.49	0.12	0.003	2.613	23.25	76.5	8.1	23.5	72.6	91.6	73.3	0.819

Примечание. Обозн. см. табл. 4.

сти исходного питания до 26.0 % при одновременном снижении общего расхода реагентов с использованием реагента-модификатора “Синтерол” в количестве $3 \cdot 10^{-3}$ кг/т значительно улучшились показатели флотации.

Так, без подачи модификатора в процесс флотации при общем расходе реагентов 3 кг/т и зольности исходного питания 29.9 % выход концентрата составил 70.0 %, его зольность – 10.8 %, зольность отходов – 74.4 %, а извлечение горючей массы в концентрат – 89.1 %.

При снижении средней зольности исходного питания до 23.3 %, подаче реагента-модификатора в количестве $3 \cdot 10^{-3}$ кг/т и общем равном расходе реагентов установлены следующие показатели флотации (табл. 6):

- увеличился выход концентрата на 3.8 %;
- уменьшилась зольность концентрата на 3.0 %;
- увеличилась зольность отходов на 2.9 %;
- увеличилось извлечение горючей массы в концентрат на 2.9 %;

– коэффициент селективности увеличился на 0.031.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В лабораторных условиях и при проведении промышленных испытаний исследован новый реагент-модификатор “Синтерол”. Применение его при проведении промышленных испытаний (в условиях ООО “ММК-Уголь”) позволило улучшить показатели флотации угольной мелочи.

Установлено, что независимо от зольности исходного питания подача в процесс реагента-модификатора позволяет улучшить показатели флотации угольной мелочи. Однако при повышении зольности исходного питания необходимо увеличить расход реагента-модификатора.

При зольности исходного питания 26.9 % подача реагента-модификатора в количестве 10^{-3} кг/т угля позволила повысить выход концентрата с 68.0 до 73.8 %, извлечение горючей массы в концентрат увеличилось с 84.2 до 91.3 %, а зольность отходов флотации повысилась с 64.0 до 76.3 %. При флотации угольной мелочи с зольностью 29.7 % и при расходе реагента-модификатора в количестве $3 \cdot 10^{-3}$ кг/т угля выход концентрата увеличился в среднем с 72.1 до 74.6 % при снижении его зольности с 12.7 до 9.7 %, при этом извлечение горючей массы в концентрат повысилось с 89.5 до 93.6 %. Применение реагента-модификатора позволило улучшить селективность процесса флотации угля, зольность отходов флотации повысилась с 73.7 до 82.0 %, что обеспечило снижение потерь органической массы угля с отходами флотации. Снижение зольности концентрата и увеличение зольности отходов с увеличением подачи реагента-модификатора обусловлены его флокулирующим действием на минеральные частицы пульпы, что важно при флотации труднообогатимой угольной мелочи, содержащей большое количество глинистых веществ. Показана эффективность реагента-модификатора “Синтерол” при малом его расходе за счет преимущественного укрупнения частиц минеральных примесей и снижения их флотуемости совместно с органической массой углей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Usui Sh. Fine particle processing and selective flocculation // Journal of the Japan Institute of Metals and Materials. 1982. Vol. 98, No. 1134. P. 679–686.

2 Spencer L., Thompson S., Brooke G. Hydrophobic polymer in coal preparation // MINPREP 87: Symp. and Exhib. Innov. Plant and Process Miner. Eng., Doncaster, 31 March–2 April, 1987. P. 173–189.

3 Никитин И. Н. Флокуляционно-флотационный способ обогащения угольных шламов // Уголь. 1992. № 3. С. 49–51.

4 Рубинштейн Ю. Б., Новак В. Я. Технология флокуляционного разделения тонкодисперсных угольных шламов // Изв. вузов. Горный журнал. 2011. № 3. С. 45–51.

5 Ding Y., Erten M. H. Selective flocculation versus oil agglomeration in removing sulfur from ultra-fine coal // Processing and Utilization of High Sulfur Coals III: Int. Conf., Ames, Iowa, 14–16 November, 1989. P. 255–260.

6 Attia Y. A., Yu Sh., Vecchi S. Selective flocculation cleaning of upper freeport coal with a totally hydrophobic polymeric flocculant / Flocculation in Biotechnology and Separation Systems, Y. A. Attia (Ed.). New York: Elsevier, 1987. P. 547–564.

7 Moudgil B. M. Effect of polyacrylamide and polyethylene oxide polymers on coal flotation // Colloids and Surfaces. 1983. Vol. 8, No. 2. P. 225–228.

8 Иванов Г. В., Байченко А. А., Басарыгин В. И. Эффективность действия аполярных реагентов при флотации угля в присутствии флокулянтов // Горный информационный бюллетень. 2004. № 12. С. 23–26.

9 Сидоров А. В., Фролов В. С., Мелехин В. В., Дорофеев А. В. Использование флокулянтов Магнафлок для обогащения угольных шламов // Сб. материалов: VIII Конгресс обогатителей стран СНГ. Москва, 28 февраля–2 марта, 2011. Т. 1. С. 28–30.

10 Петухов В. Н., Субботин В. В., Фролов В. С. Разработка технологического режима флотации сфлокулированных угольных зерен, обеспечивающего высокую эффективность обогащения углей // Кокс и химия. 2013. № 10. С. 37–41.

11 Реагенты-модификаторы [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://helpiks.org/3-75378.html> (дата обращения: 06.08.2021).

12 Саблин А. В., Петухов В. Н. Повышение эффективности действия реагентных композиций при использовании новых реагентов-модификаторов // Сб. материалов: VI Конгресс обогатителей стран СНГ. Москва, МИСиС, 28–30 марта, 2007. Т. 2. С. 182–184.

13 Лавриненко А. А., Сирченко А. С. Использование высокомолекулярных сополимеров в качестве модификаторов при флотации углей различной стадии метаморфизма // Горный информ.-аналит. бюлл. 2009. № S14. С. 249–262.

14 Петухов В. Н., Кубак Д. А., Субботин В. В. Повышение эффективности флотации флокулированной угольной мелочи с использованием реагента-модификатора // Кокс и химия. 2015. № 3. С. 26–33.

15 Петухов В. Н., Кубак Д. А. Использование величины энергии водородной связи межмолекулярных комплексов химических соединений с активными центрами угольной поверхности для обоснования их флотационной активности // Кокс и химия. 2014. № 7. С. 50–56.

16 Петухов В. Н., Саблин А. В., Лавриненко А. А., Юнаш А. А. Исследование флотуемости углей различной минерализации органической массы с использованием нового реагента-собирателя // Вестн. Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г. И. Носова. 2008. № 2 (22). С. 31–33.

17 Белоусов В. А. Основные направления интенсификации флотационного обогащения углей // Междунар. журн. приклад. и фундам. исслед. 2014. № 11. С. 719–721.

18 Лавриненко А. А., Свечникова Н. Ю. Исследование квантово-химических параметров углеводов при выборе

- реагентов для флотации углей // Вестн. Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г. И. Носова. 2008. № 1 (21). С. 85–87.
- 19 Сирченко А. С., Петухов В. Н., Лахтин С. Н. Повышение флотлируемости каменных углей за счет использования реагентов-модификаторов // Горный информ.-аналит. бюлл. 2005. № 12. С. 257–260.
- 20 Сирченко А. С., Петухов В. Н., Саблин А. В., Юнаш А. А. Применение полимерных соединений различной структуры в качестве реагентов-модификаторов при флотации каменноугольной мелочи // Башкирский химический журнал. 2007. Т. 14, № 2. С. 108–112.
- 21 Сирченко А. С. Снижение загрязнения окружающей среды аполярными реагентами при флотации углей за счет использования реагентов-модификаторов // Тез. докл. VII Всерос. науч.-практ. конф. студентов и аспирантов "Химия и химическая технология в XXI веке". Томск, 2006. С. 229–231.
- 22 Петухов В. Н., Осина Н. Ю., Юнаш А. А., Саблин А. В. Исследование и разработка нового реагентного режима флотации углей на основе термодинамических параметров адсорбции углеводородов на угольной поверхности // Башкирский химический журнал. 2007. Т. 14, № 3. С. 69–71.