

УДК 622.07(06)

Микрофлотационная технология извлечения угля из иловых отходов углеобогащения

Теоретически обоснована и экспериментально подтверждена высокая эффективность турбулентной микрофлотации при извлечении угля из иловых хвостов углеобогащения.

Отечественная энергетика, основанная на использовании твердого топлива, испытывает острый дефицит углей в связи с падением их добычи и со значительным снижением качества. Последнее преимущественно обусловлено добычей углей из тонких пластов с присечкой вмещающих пород, повышающих их зольность, а также ростом содержания в горной массе мелких классов углей и их шламов, доля которых фактически может составлять до 30 %. Однако в большинстве случаев обогатительные фабрики (ОФ) Украины не адаптированы к современной сырьевой базе, вследствие чего потери углей с отходами могут составлять более 2 %.

В отвалах обогатительных фабрик накоплено значительное количество отходов. По предварительным оценкам, в прудах-илонакопителях заскладировано до 120 млн т шламов и илов. Вследствие относительно низкой зольности содержащихся в илонакопителях отходов, по существу, – это техногенные месторождения, из которых можно получать энергетическое топли-

во, а в некоторых случаях и концентрат для коксования, что предполагает необходимость дальнейшего усовершенствования техники и технологии обогащения.

Наиболее перспективной представляется технология, получившая название «турбулентная микрофлотация» (ТМФ), впервые предложенная как метод очистки воды от тонкодисперсных загрязнений [1, 2]. Позднее она была теоретически обоснована [3, 4] и экспериментально подтверждена [5] как высокоэффективный метод обогащения тонкодисперсных минералов. В отличие от обычной флотации в основе ТМФ-технологии – использование тонкодисперсных пузырьков воздуха (менее 50 мкм), минерализация которых осуществляется в течении турбулентного потока пульпы, протекающей внутри статического миксера (флотореактора).

Рассмотрим результаты испытания эффективности ТМФ-технологии на примере обогащения илов из илонакопителя Червоноградской ОФ (г. Червоноград, Львовская обл.). Испытания проводились с помощью пилотной ТМФ-установки (рис. 1), разработанной и изготовленной в Институте биокolloидной химии НАН Украины



Н. Н. РУЛЕВ,
доктор хим. наук
(Институт биокolloидной химии
им. Ф. Д. Овчаренко НАН Украины)



О. В. КРАВЧЕНКО,
канд. хим. наук
(Институт биокolloидной химии
им. Ф. Д. Овчаренко НАН Украины)



Н. К. ТУСУПБАЕВ,
доктор техн. наук
(ОА «Центр наук о земле,
металлургии и обогащении»,
г. Алматы, Казахстан)

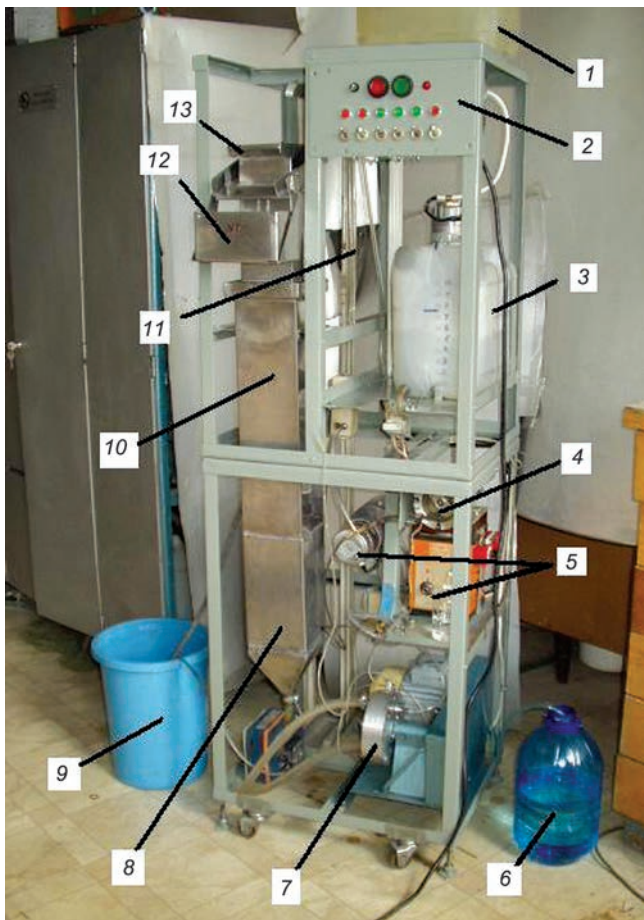


Рис. 1. Пилотная ТМФ-установка: 1 – бак с промывной водой; 2 – блок управления и контроля; 3 – расходный бак с мешалкой; 4 – питающий насос; 5 – насосы для подачи раствора вспенивателя и воздуха в генератор микропузырьков; 6 – раствор вспенивателя; 7 – генератор микропузырьков; 8 и 13 – конструкции для выхода тяжелых хвостов и для флотоконцентрата; 9 и 12 – сборники хвостов и флотоконцентрата; 10 – пеноотделитель; 11 – трубчатый статический миксер.

совместно с фирмой «Турбофлотсервис» (г. Киев). В соответствии с технологической схемой (рис. 2) установка включает трубчатый статический миксер, в котором осуществляется турбулентная гидродинамическая обработка иловой суспензии, насыщенной микропузырьками воздуха, поступающими в поток пульпы из генератора микропузырьков в виде концентрированной (объемная доля до 62 %) водовоздушной эмульсии. Выход трубчатого статического миксера был подсоединен к пеноотделителю, в котором происходило седиментационное отделение флотокомплексов от пульпы.

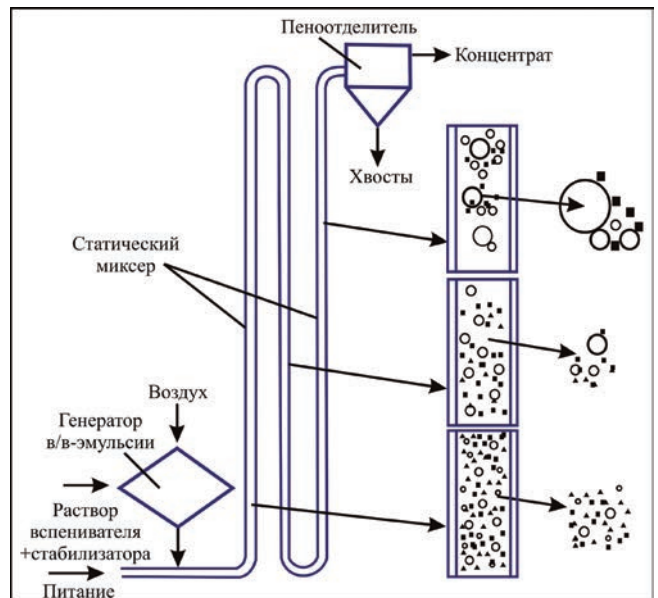


Рис. 2. Технологическая схема пилотной ТМФ-установки.

Техническая характеристика пилотной ТМФ-установки

Расход, л/ч:	
пульпы	20,4
раствора вспенивателя	6,7
воздуха	10,8
Объемная доля водовоздушной эмульсии, %:	
на входе в статический миксер	61,7
в статическом миксере	28,5
Концентрация вспенивателя в пульпе, мг/л	74,2
Высота пенного слоя над уровнем перелива пульпы, см	8 – 15
Время обработки в статическом миксере, с	54,5 (77,9)

В качестве питания использовали иловые суспензии концентрацией $C_{пит} = 40 \dots 100$ г/л, полученные из исходного сырья, поступавшего на ОФ после отделения грубодисперсной фракции в гидроциклонах и мокрого просеивания на ситах с размерами ячеек 125 и 63 мкм.

Для получения водовоздушной микроэмульсии использовали водный раствор смеси: 1,1,3-триэтоксипутана (ТЭБ), концентрация $C_{вс} = 300$ мг/л; додецилсульфат натрия (ДДС), концентрация $C_{ст} = 1$ мг/л, причем последний для усиления коалесцентной устойчивости микропузырьков.

В качестве собирателя применили продукт фирмы BASF-«DEFOFLOC CRE – 5059» (ДФФ), расход $q = 0,3$ кг/т.

Цель статьи – определение эффективности микрофлотационного процесса при извлечении

тонкодисперсного угля из иловых отходов углеобогащения.

В процессе исследования были измерены: выход концентрата γ ; извлечение горючего компонента E ; зольности A концентрата и хвостов. Эти величины определялись при изменении расхода собирателя, дисперсности пульпы d , высоты пенного слоя h и концентрации стабилизатора микропузырьков ДДС. Приводим полученные результаты и их анализ.

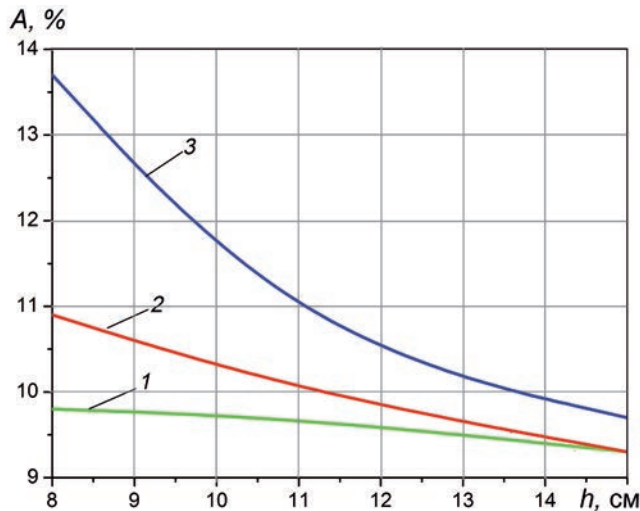


Рис. 3. Зависимость зольности A флотоконцентрата от высоты h пенного слоя над уровнем перелива при различных концентрациях стабилизатора в растворе вспенивателя: 1 – 0; 2 – 0,5 мг/л; 3 – 1 мг/л.

Поскольку при микрофлотации образуется устойчивая мелкодисперсная пена, необходимо было установить, как высота пенного слоя и концентрация стабилизатора ДДС в растворе вспенивателя влияют на зольность флотоконцентрата и отходов флотации. Для исследования использовались шламовые воды батарейных гидроциклонов после их просеивания на сите с ячейками для частиц размерами –125 мкм. Из полученных результатов (рис. 3) следует, что с повышением концентрации ДДС зольность флотоконцентрата увеличивается, а с увеличением высоты пенного слоя над уровнем перелива с 8 до 15 см уменьшается почти до природной зольности угля (около 9 %). При концентрации стабилизатора 0,4 – 0,5 мг/л наблюдается максимум зольности, составляющий примерно 70 % (рис. 4). Это обусловлено тем, что с увеличением концентрации стабилизатора эффективность коалесценции пузырьков уменьша-

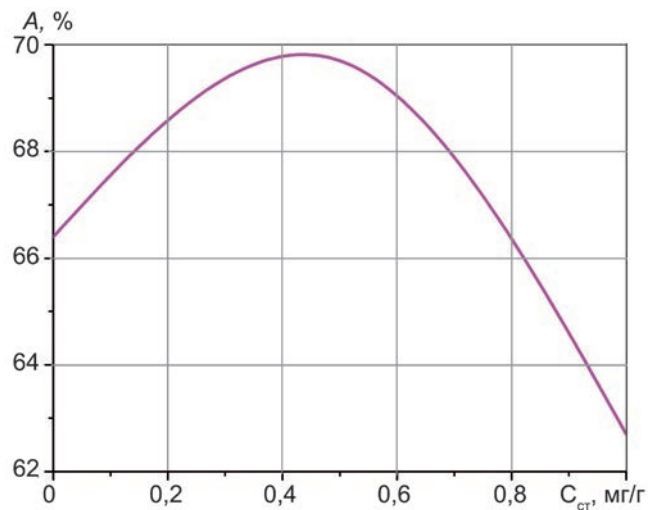


Рис. 4. Зависимость зольности A отходов от концентрации стабилизатора $C_{ст}$ в растворе вспенивателя.

ется и при постоянном времени обработки в статическом миксере в пеноотделитель попадает больше мелких пузырьков. В результате пенный слой становится более тонкодисперсным и хуже отдает воду с частицами породы.

Чтобы определить влияние расхода собирателя на зольность флотоконцентрата ТМФ, были обработаны шламовые суспензии с размером фракций –125 мкм. Из табл. 1 ($C_{тв} = 45$ г/л) следует, что увеличение расхода собирателя способствует возрастанию степени извлечения горючей массы, уменьшению зольности концентрата, но при этом снижает выход флотоконцентрата.

В целях изучения влияния дисперсности пульпы на эффективность ТМФ-процесса были обработаны шламовые суспензии с размером частиц –125 и –63 мкм. Из рис. 5 видно, что при ТМФ-обработке более мелкой фракции (–63 мкм) расход собирателя, при котором достигается максимальное извлечение 65 %, равен примерно 1,3 кг/т, что почти в 2 раза больше, чем при обработке более крупной фракции (–125 мкм), максимальное

Таблица 1

A , %	q , кг/т	Флотоконцентрат		Отходы микрофлотации		γ , %	E , %
		m_k , г	A , %	m , г	A , %		
48,5	0	20	14,1	30	71,4	40,7	66,7
45,8	0,15	30	9,4	50	67,6	33,5	62,7
41,7	0,3	25	10,8	30	67,4	34,1	69,5

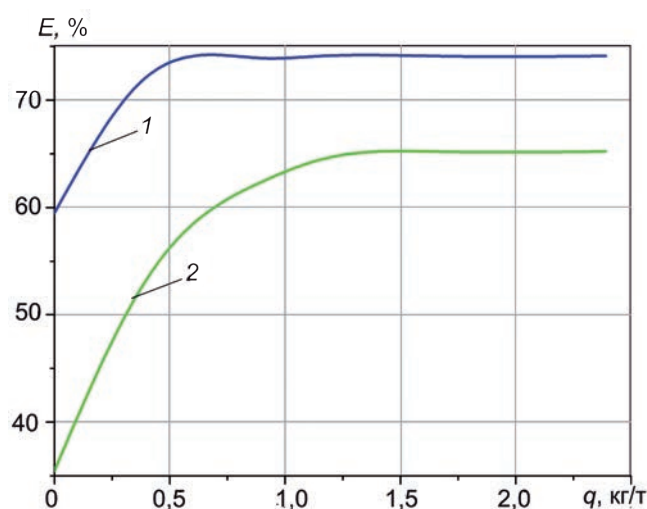


Рис. 5. Зависимость степени извлечения горючей массы E от расхода q собирателя при обработке суспензий размерами фракций -125 мкм (1) и -63 мкм (2).

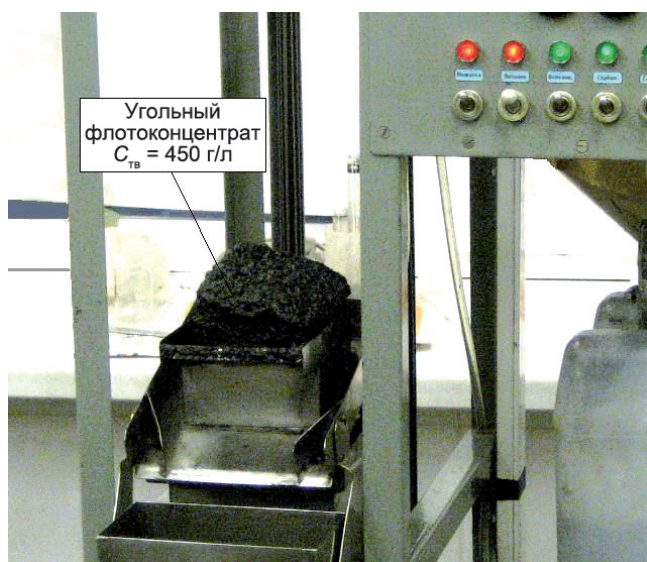


Рис. 6. «Сухой» угольный флотоконцентрат.

извлечение которой (74 %) достигается при расходе собирателя 0,6 кг/т.

Особо следует констатировать, что во всех экспериментах зарегистрирована высокая концентрация твердого $C_{ТВ}$ во флотоконцентрате – 390 – 490 г/л (рис. 6). Очевидно, что получение столь «сухого» концентрата может существенно облегчить его дальнейшее обезвоживание.

Как известно, даже чистый уголь содержит примеси, которые в принципе не поддаются флотации. Исходя из этого для оценки предельных

возможностей ТМФ-процесса были использованы образцы флотоконцентрата размерами фракций -63 и -125 мкм, полученные предварительно, а затем еще раз очищенные на ТМФ-установке, т. е. флотационно-активные образцы тонкодисперсного угля, практически не содержавшие примесей породы (зольность 9 %). В указанном случае степень извлечения горючего компонента можно определить как отношение количества материала, попавшего в концентрат, к количеству материала, поступившего в установку с питанием.

В процессе обработки моноугольной суспензии через ТМФ-установку пропускали определенный объем пульпы с заданной концентрацией предварительно очищенного угольного концентрата. Время обработки пульпы в трубчатом статическом миксере меняли путем изменения его длины. Поскольку степень извлечения активного компонента значительно зависит от эффективности коалесценции пузырьков, последнюю изменяли путем увеличения или уменьшения концентрации стабилизатора ДДС в растворе вспенивателя. Константу скорости флотации оценивали по формуле

$$K = -(1/t) \ln [1 - (m_k/m_0)], \quad (1)$$

где t – время обработки пульпы в статическом миксере, с;
 m_k – масса концентрата, г;
 m_0 – масса питания, г.

Из результатов, представленных в табл. 2 ($q = 1$ кг/т; если фракция -63 мкм, то зольность составит 9 %, если фракция -125 мкм, то зольность будет 8,9 %), следует, что с увеличением концентрации стабилизатора и времени обработки повышаются как степень извлечения активного компонента, так и константа скорости процесса. Полученные значения констант для ТМФ-процесса более чем в 10 раз превосходят значения констант для обычных флотационных машин, что свидетельствует о высоких потенциальных возможно-

Таблица 2

Размер фракции, мкм	$C_{ср}$, мг/л	t , с	$C_{пит}$, г/л	m_0 , г	m_k , г	E , %	K , мин ⁻¹
-63	1	54,5	40	200	143	71,4	1,36
	1	77,9	100	50	42,22	84,4	1,43
	2	77,9	100	50	46,1	92,2	1,96
-125	1	54,5	50	250	167,8	67,1	1,22
	1	77,9	100	50	43,54	87,1	1,57
	2	77,9	100	50	46,54	93,1	2,05

стях ТМФ-технологии для извлечения тонкодисперсного угля из хвостов обогащения. Поскольку эффективности флотационного извлечения фракций (–63 и –125 мкм) мало отличаются между собой, это свидетельствует о том, что частицы угля в процессе флотации агрегируют за счет гидрофобного взаимодействия.

Как следует из приведенных в табл. 2 результатов, ТМФ-установка обеспечивает высокий процент извлечения при концентрации флотируемого материала порядка 100 г/л. Отсюда следует, что при зольности реального питания порядка 60 % ТМФ-установка в состоянии эффективно обрабатывать питание с концентрацией твердого более 200 г/л.

Выводы. Использование оптимальных гидродинамических и реагентных режимов ТМФ-обработки иловых угольных суспензий позволяет достичь более чем 90 %-ное извлечение горючей массы при выходе концентрата более 60 % и зольности 9 – 12 %.

В случае увеличения размера фракции с –125 до –63 мкм расход собирателя возрастает примерно в 2 раза, а извлечение горючей массы уменьшается с 74 до 65 %.

Оптимальная высота пенного слоя над переливом пеносепаратора составляет примерно 15 см. При этом достигается минимальная зольность концентрата (9,5 %) и содержание твердого до 500 г /л.

Эффективную ТМФ-обработку угольных шламов можно осуществлять при концентрации твердого в пульпе более чем 200 г/л.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Рулев Н. Н. Кинетика эмульсионной флотации в турбулентном потоке // Химия и технология воды / Н. Н. Рулев. – 1979. – Т. 1. – № 2. – С. 9 – 13.
2. Rulyov N. N. Turbulent Microflotation: Theory and Experiment / N. N. Rulyov // Colloids & Surfaces A. – 2001. – Vol. 192. – P. 73 – 91.
3. Rulyov N. N. Turbulent Microflotation of Fine Disperse Minerals (The General Concept) // Flotation & Flocculation: From Fundamentals to Applications. – Kailua-Kona (Hawaii), 2003. – P. 177 – 184.
4. Rulyov N. N. Physicochemical micro-hydrodynamics of ultradisperse systems / N. N. Rulyov // Nanoscience: Colloidal and Interfacial Aspects / Edited V. Starov. – Florida: CRC Press, 2010. – P. 969 – 995.
5. Rulyov N. N. Turbulent micro-flotation of ultra-fine minerals / N. N. Rulyov // Mineral Processing and Extractive Metallurgy. – 2008. – Vol. 117. – № 1. – P. 32 – 37.

Журнал «Уголь Украины»

визнаний фаховим з технічних наук

(Постанова Президії ВАК України

№ 1–05/2 від 23.02.2011 р.)

та з економічних наук

(Постанова Президії ВАК України

№ 1–05/5 від 31.05.2011 р.)