

А.И. ЕГУРНОВ, канд. техн. наук
(Украина, Днепропетровск, ЗАО "АНА-ТЕМС"),

С.Д. БОРУК, канд. хим. наук
(Украина, Черновцы, Черновицкий национальный университет)

ВЛИЯНИЕ НЕИОНОГЕННЫХ ПАВ И ФЛОКУЛЯНТОВ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ПРОЦЕССОВ МЕЖЧАСТИЧНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СУСПЕНЗИЯХ СОДЕРЖАЩИХ ЧАСТИЦЫ РАЗНОЙ ПРИРОДЫ

При решении ряда технологических задач, связанных с обогащением минерального сырья, очистки сточных вод от дисперсных примесей необходимо проводить эффективное отделение частиц дисперсной фазы от дисперсионной (как правило, водной) среды. В ряде случаев дисперсные системы, в первую очередь сточные воды, содержат частицы разной физико-химической природы, что усложняет задачу их агрегации и совместного осаждения. Сточные воды углеобогатительных предприятий характеризуются значительным содержанием взвешенных частиц угольной и глинистой природы. Существующие схемы очистки, как правило, не позволяют в достаточной степени провести отделение дисперсной фазы, что приводит к потере части угольного сырья и значительному загрязнению водных объектов, в которые сбрасываются сточные воды. Поэтому поиск эффективных реагентов и условий, при которых будет проходить интенсивная агрегация частиц дисперсной фазы, является важной задачей.

Известно, что наиболее эффективно отделение дисперсной фазы происходит при реализации взаимодействия крупных и мелких частиц [1,2]. Мелкая частица, попадая в поле молекулярного притяжения крупной, при совместном действии молекулярных, электростатических и структурных сил образует контактный ассоциат, прочность и устойчивость которого определяется соотношением вышеуказанных сил. Перспективным направлением регулирования интенсивности межчастичных взаимодействий является применение ряда органических веществ, способствующих агрегации частиц, и как следствие к снижению седиментационной устойчивости дисперсий.

В качестве объектов исследования нами были выбраны

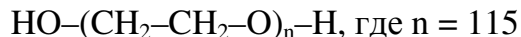
– гидрослюда, которая представляет собой глинистый минерал, имеющий общую формулу: $K_{1-1,5}Al_4[Si_{6,5-7}Al_{1-4,5}O_{20}](OH)_4 \cdot nH_2O$, относящийся к минералам типа слюд, со слоистой структурой и формой кристаллов близкой к гексагональной, размеры частиц находятся в диапазоне 2-25 мкм;

– дисперсный уголь марки "Д", полученный на основе обогащенного угля, зольность 2,2%, исследовались фракции содержащие частицы размером 0-50 мкм и 100-250 мкм.

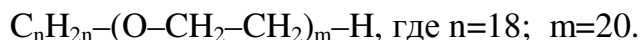
Выбор веществ-модификаторов определялся их доступностью, отсутствием химического взаимодействия с поверхностью частиц дисперсной фазы, низкой токсичностью. Учитывалось также практическое применение данных ве-

ществ. Согласно литературным данным [3], этим требованиям соответствовали следующие вещества:

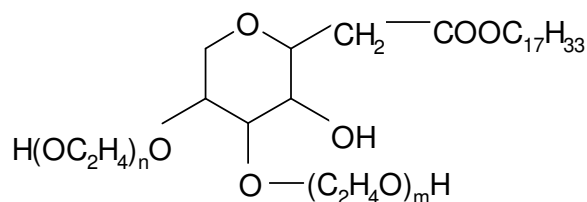
1. Неионогенное ПАВ ПЭГ-115, производства Ивано-Франковского завода ГОС, молекулярная масса составляет порядка 5000-5100 а.е., имеющее следующую формулу:



2. Неионогенное ПАВ ОС-20, производства Ивано-Франковского завода ГОС, молекулярная масса составляет порядка 1100–1200 а.е. образует мицеллы, ККМ = 0,2 кг/м³, имеющее следующую формулу:

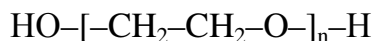


3. Неионогенное ПАВ Твин-80, производства завода ГОС г. Долгопрудный, Московской области (Россия), молекулярная масса составляет порядка 1100 а.е. образует мицеллы, ККМ = 0,06 кг/м³, имеющее следующую формулу:

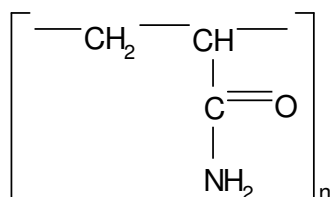


где $n + m = 20$

4. Полимер полиэтиленоксид (ПЭО), производства новосибирского филиала Кемеровского НПО "Карболит" (Россия). Молекулярная масса составляет порядка $(2-3) \cdot 10^6$ а.е. Имеет следующую общую формулу:



5. Полимер полиакриламид (ПАА), производства Калушского концерна "Ориана". Молекулярная масса составляет порядка $(4-5) \cdot 10^6$ а.е. Имеет следующую общую формулу:



В качестве критерия интенсивности взаимодействия частиц в разбавлен-
Збагачення корисних копалин, 2011. – Вип. 45(86)

Екологія

ных системах (до 3 кг/м^3) использовался эффективный коэффициент налипания ($K_{эф}$), определяемый как тангенс угла наклона зависимости изменения концентрации мелкой фракции от концентрации крупной [4,5]. Для установления характера действия добавок на седиментационную устойчивость суспензий применяли коэффициент седиментационной неустойчивости ($K_{сн}$), определяемый как тангенс угла наклона зависимости изменения величины оптической плотности суспензии за время эксперимента ($D_0 - D_k$) от концентрации дисперсной фазы системы [6]. Этот коэффициент зависит от природы дисперсной фазы и размеров частиц, поэтому он может характеризовать изменение седиментационной устойчивости под действием добавки только однотипных суспензий.

Для установления влияния данных добавок на интенсивность агрегативных процессов в дисперсных системах проводили исследования взаимодействия частиц в следующих системах: крупная фракция угля – мелкая фракция угля; крупная фракция угля – гидрослюда; мелкая фракция угля – гидрослюда.

Установлено, что наличие в системе неионогенных поверхностно-активных веществ (НПАВ) и флокулянтов приводит к изменению интенсивности межчастичных взаимодействий. Как видно из приведенных данных (таблицы 1–3) характер действия веществ на свойства суспензий не зависит от природы твердой фазы суспензий. Максимальное влияние поверхностно-активные вещества и флокулянты оказывают на дисперсные системы содержащие мелкую фракцию угля и гидрослюда. Это вызвано сравнительно небольшой разницей размеров взаимодействующих частиц. С увеличением разницы размеров частиц крупной фракции по отношению к мелкой эффективный коэффициент налипания уменьшается, что связано с уменьшением числа эффективных соударений и повышением гидродинамического сопротивления сольватационного слоя крупной частицы.

Наличие веществ, молекулы которых имеют линейное строение (ПЭО, ПАА, ПЭГ-115, ОС-20) при низких концентрациях приводит к интенсификации процессов агрегации частиц в суспензиях (таблицы 1-3). При увеличении концентраций добавок происходит снижение величин эффективного коэффициента налипания. Такое изменение агрегативной устойчивости разбавленных дисперсий обусловлено типом структуры, реализующихся в дисперсных системах под влиянием молекул добавок. В области низких концентраций, макромолекулы ПЭО и ПАА, обладающие высокой адсорбционной способностью и большими размерами молекул, образуют "мостиковые" связи между частицами дисперсной фазы, что приводит к усилению эффекта взаимной флокуляции. При больших концентрациях данный эффект ослабляется за счет действия структурно-механического барьера адсорбционной микрофазы, создающей расклинивающее давление, препятствующее агрегации частиц.

Наличие в системе полимеров в малых концентрациях (до $0,02 \text{ кг/м}^3$) приводит к укрупнению частиц дисперсной фазы, увеличению внутреннего трения и интенсивности межчастичных взаимодействий. Это сопровождается снижением седиментационной устойчивости всех исследуемых суспензий. При увеличении концентрации полимеров происходит образование в суспензиях ус-

тойчивых пространственных структур, в узлах которых находятся частицы дисперсной фазы, или их агрегаты. Это приводит к увеличению седиментационной устойчивости систем. Причем макромолекулы ПАА способны практически полностью стабилизировать суспензии, содержащие глинистые частицы, а также суспензии на основе мелкой фракции угля. В таких системах полимеры оказывают стабилизирующее действие, так как частицы легко захватываются полимером, образуя прочные пространственные структуры. Действие ПЭГ-115, и ОС-20 в суспензиях аналогично действию ПАА и ПЭО, но менее эффективно. Имеющиеся различия обусловлены меньшей молекулярной массой добавок, а так же способностью ОС-20 образовывать в растворе мицеллы.

Небольшая молекулярная масса приводит к тому, что добавки НПАВ действуют в большем диапазоне концентраций. НПАВ в меньшей степени способны менять величины седиментационной и агрегативной устойчивостей суспензий, что связано со способностью молекул низкомолекулярных добавок создавать устойчивые мостиковые связи между частицами.

Однако, связывать изменение свойств дисперсных систем только с модификацией поверхности частиц неправомерно, так как на контактное взаимодействие частиц влияет и ассоциативная молекулярная структура дисперсионной среды, которая меняется при наличии в системе молекул добавок. Горизонтальное расположение адсорбированных молекул ПЭГ-115 снижает влияние турбулентных пульсаций, отрицательно сказывающихся на взаимодействии частиц в суспензиях. Поэтому эффективность действия ПЭГ-115 на интенсивность агрегативных процессов практически не уступает полимерам.

Зависимость седиментационной устойчивости дисперсных систем содержащих угольные частицы от концентрации ПЭГ-115 аналогична зависимостям, полученным для полимеров. Для суспензий содержащих только глинистые частицы, имеются существенные отличия. В области низких концентраций седиментационная устойчивость таких систем снижается за счет их агрегации. Но при увеличении концентрации добавки происходит незначительная стабилизация суспензий. Молекулы ПЭГ-115 агрегируют частицы, но не могут создать устойчивую структуру, способную противостоять внешним воздействиям даже в суспензиях, содержащих сравнительно небольшие и легкие частицы.

Действие ОС-20 на агрегативную и седиментационную устойчивость, а также на интенсивность межчастичных взаимодействий аналогично влиянию ПЭГ-115. ОС-20 в меньшей степени влияет на свойства систем, что является следствием меньшей молекулярной массы его молекул. Молекулы ОС-20 слабо агрегируют частицы, не способны образовывать "мостичные" связи, и его действие обусловлено модификацией поверхности частиц. В области высоких концентраций ОС-20 приводит к незначительной стабилизации глинистых суспензий.

Действие Твина-80 резко отличается от действия добавок имеющих линейное строение. Твин-80 снижает интенсивность межчастичного взаимодействия, при этом повышает седиментационную устойчивость суспензий, за счет диспергации частиц. На полученных зависимостях наблюдается минимум, соот-

Екологія

ветствующих критической концентрации мицеллообразования. Характер действия Твин-80 объясняется пространственным строением его молекулы. Твин-80 действует как диспергатор в области концентраций ниже ККМ, при увеличении его концентрации, выше ККМ происходит снижение эффективности диспергирующего действия с последующим выходом зависимости на плато. Диспергирующее действие Твин-80 снижается после достижения ККМ, что вызвано агрегацией его молекул.

Таким образом, показано, что введение в сточные воды поверхностно активных веществ и флокулянтов сопровождается изменением агрегативной и седиментационной устойчивости частиц дисперсной фазы. Вещества, молекулы которых имеют линейное строение, в значительной степени снижают устойчивость дисперсных систем. Вещества, молекулы которых имеют разветвленное строение увеличивают их устойчивость. Полученные результаты могут быть применены при проведении очистки природных и сточных вод от взвешенных частиц, а также при проведении ряда технологических операций при обогащении минерального сырья.

Таблица 1

Зависимость эффективного коэффициента налипания ($K_{эф}$) и коэффициента седиментационной неустойчивости ($K_{сн}$) в дисперсных системах содержащих крупную и мелкую фракции угля

№ графы	Добавка	Концентрация	$K_{эф}$	$K_{сн}$ (кр. фр.)	$K_{сн}$ (мел. фр.)	$K_{сн}$ (кр.+мел. фр.)
1	2	3	4	5	6	7
I	Твин-80	0	0,0072	0,024	0,07	0,031
		0,0125	0,0052	0,023	0,076	0,03
		0,025	0,0027	0,023	0,083	0,029
		0,05	0,0033	0,023	0,084	0,028
		0,075	0,0035	0,022	0,085	0,028
		0,1	0,0036	0,022	0,085	0,028
		0,15	0,0038	0,021	0,086	0,028
		0,2	0,004	0,021	0,087	0,028
II	ОС-20	0	0,0072	0,024	0,07	0,031
		0,0125	0,0078	0,021	0,075	0,033
		0,025	0,0068	0,019	0,082	0,035
		0,05	0,0065	0,018	0,085	0,036
		0,075	0,0063	0,018	0,086	0,036
		0,1	0,0058	0,018	0,087	0,037
		0,15	0,0055	0,017	0,088	0,038
		0,2	0,0054	0,017	0,088	0,039
III	ПЭГ-115	0	0,0072	0,024	0,07	0,031
		0,0125	0,0095	0,026	0,082	0,034
		0,025	0,0089	0,028	0,077	0,035
		0,05	0,0062	0,029	0,076	0,035
		0,075	0,0045	0,030	0,075	0,035
		0,1	0,0035	0,030	0,073	0,036
		0,15	0,0026	0,031	0,073	0,036
		0,2	0,0022	0,032	0,071	0,036

1	2	3	4	5	6	7
IV	ПЭО	0	0,0072	0,024	0,07	0,031
		0,005	0,0105	0,031	0,088	0,041
		0,01	0,0098	0,030	0,092	0,040
		0,025	0,0082	0,029	0,094	0,038
		0,05	0,0054	0,028	0,090	0,036
		0,075	0,0031	0,027	0,086	0,035
		0,1	0,0025	0,027	0,085	0,034
		0,15	0,0021	0,027	0,084	0,033
		0,2	0,0019	0,026	0,083	0,033
V	ПАА	0	0,0072	0,024	0,07	0,031
		0,005	0,0112	0,029	0,065	0,045
		0,01	0,0107	0,031	0,059	0,047
		0,025	0,0086	0,033	0,047	0,048
		0,05	0,0057	0,034	0,035	0,048
		0,075	0,0033	0,036	0,028	0,049
		0,1	0,0025	0,037	0,021	0,050
		0,15	0,0019	0,038	0,018	0,050
		0,2	0,0017	0,038	0,015	0,050

Таблица 2

Зависимость эффективного коэффициента налипания ($K_{эф}$) и коэффициента седиментационной неустойчивости ($K_{сн}$) в дисперсных системах содержащих крупную фракцию угля и гидрослюду.

№ графы	Добавка	Концентрация	$K_{эф}$	$K_{сн}$ (кр. фр.)	$K_{сн}$ (гс)	$K_{сн}$ (кр. фр. + гс)
1	2	3	4	5	6	7
I	Твин-80	0	0,0065	0,024	0,254	0,087
		0,0125	0,0043	0,023	0,209	0,079
		0,025	0,0018	0,023	0,198	0,076
		0,05	0,0025	0,023	0,194	0,074
		0,075	0,0028	0,022	0,196	0,071
		0,1	0,0029	0,022	0,200	0,068
		0,15	0,0031	0,021	0,198	0,065
		0,2	0,0032	0,021	0,201	0,063
II	ОС-20	0	0,0065	0,024	0,254	0,087
		0,0125	0,0073	0,021	0,278	0,091
		0,025	0,0075	0,019	0,289	0,086
		0,05	0,0072	0,018	0,216	0,082
		0,075	0,0066	0,018	0,196	0,079
		0,1	0,0064	0,018	0,192	0,077
		0,15	0,0062	0,017	0,191	0,076
		0,2	0,0006	0,017	0,19	0,075
III	ПЭГ-115	0	0,0065	0,024	0,254	0,087
		0,0125	0,0085	0,026	0,33	0,095
		0,025	0,0087	0,028	0,279	0,091
		0,05	0,0084	0,029	0,257	0,088
		0,075	0,0072	0,030	0,254	0,085
		0,1	0,0053	0,030	0,25	0,083
		0,15	0,0032	0,031	0,249	0,078
		0,2	0,0025	0,032	0,248	0,076

1	2	3	4	5	6	7
IV	ПЭО	0	0,0065	0,024	0,254	0,087
		0,005	0,0093	0,031	0,313	0,105
		0,01	0,0095	0,030	0,293	0,106
		0,025	0,0084	0,029	0,273	0,101
		0,05	0,0075	0,028	0,223	0,095
		0,075	0,0053	0,027	0,222	0,092
		0,1	0,0034	0,027	0,222	0,086
		0,15	0,0028	0,027	0,215	0,074
		0,2	0,0026	0,026	0,2	0,062
V	ПАА	0	0,0065	0,024	0,254	0,087
		0,005	0,0103	0,029	0,348	0,121
		0,01	0,0101	0,031	0,318	0,124
		0,025	0,0076	0,033	0,192	0,112
		0,05	0,0046	0,034	0,121	0,102
		0,075	0,0032	0,036	0,085	0,086
		0,1	0,0024	0,037	0,048	0,057
		0,15	0,0020	0,038	0	0,034
		0,2	0,0019	0,038	0	0,018

Таблица 3

Зависимость эффективного коэффициента налипания ($K_{эф}$) и коэффициента седиментационной неустойчивости ($K_{сн}$) в дисперсных системах содержащих мелкую фракцию угля и гидрослюду.

№ графы	Добавка	Концентрация	$K_{эф}$	$K_{сн}$ (мел. фр.)	$K_{сн}$ (гс.)	$K_{сн}$ (мел. фр.+ гс)
1	2	3	4	5	6	7
I	Твин-80	0	0,0102	0,07	0,254	0,154
		0,0125	0,0082	0,076	0,209	0,139
		0,025	0,0075	0,083	0,198	0,126
		0,05	0,0078	0,084	0,194	0,124
		0,075	0,0081	0,085	0,196	0,121
		0,1	0,0085	0,085	0,200	0,118
		0,15	0,0089	0,086	0,198	0,115
		0,2	0,0091	0,087	0,201	0,113
		II	ОС-20	0	0,0102	0,07
0,0125	0,0108			0,075	0,278	0,162
0,025	0,0104			0,082	0,289	0,157
0,05	0,0098			0,085	0,216	0,153
0,075	0,0095			0,086	0,196	0,151
0,1	0,0093			0,087	0,192	0,148
0,15	0,0092			0,088	0,191	0,146
0,2	0,0091			0,088	0,19	0,145
III	ПЭГ-115			0	0,0102	0,07
		0,0125	0,0125	0,082	0,33	0,166
		0,025	0,0129	0,077	0,279	0,169
		0,05	0,0112	0,076	0,257	0,161
		0,075	0,0105	0,075	0,254	0,158
		0,1	0,0085	0,073	0,25	0,155
		0,15	0,0078	0,073	0,249	0,151
		0,2	0,0075	0,071	0,248	0,149

1	2	3	4	5	6	7
IV	ПЭО	0	0,0102	0,07	0,254	0,154
		0,005	0,0133	0,088	0,313	0,172
		0,01	0,0138	0,092	0,293	0,168
		0,025	0,0129	0,094	0,273	0,154
		0,05	0,0091	0,090	0,223	0,132
		0,075	0,0062	0,086	0,222	0,116
		0,1	0,0044	0,085	0,222	0,098
		0,15	0,0031	0,084	0,215	0,086
		0,2	0,0023	0,083	0,2	0,075
V	ПАА	0	0,0102	0,07	0,254	0,154
		0,005	0,0142	0,065	0,348	0,178
		0,01	0,0131	0,059	0,318	0,171
		0,025	0,0106	0,047	0,192	0,164
		0,05	0,0087	0,035	0,121	0,140
		0,075	0,0063	0,028	0,085	0,112
		0,1	0,0047	0,021	0,048	0,077
		0,15	0,0029	0,018	0	0,054
		0,2	0,0017	0,015	0	0,036

Список литературы

1. **Запольский А.К., Баран А.А.** Коагулянты и флокулянты в процессах очистки воды. – Л.: Химия, 1987. – 208 с.
2. **Александрович Х.М.** Физико-химия селективной флотации калийных солей. – Минск: Наука и техника, 1983. – 272 с.
3. Поверхностно-активные вещества. Свойства и применение / Под ред. **А.А. Абрамзона.** – Л.: Химия, 1979. – 302 с.
4. **Слипенок Т.С., Руди В.П.** Влияние поверхностно-активных веществ на контактные взаимодействия частиц в глинистосолевых суспензиях // Коллоидный журн. – 1987.– Т.49, №2. – С. 372-375.
5. **Слипенок Т.С., Борук С.Д., Скрипский И.Н.** Влияние полиэтиленоксида и полиакриламида на процессы флокуляции в глинистой суспензии // Укр. хим. журн. – 1991.– Т.57, №3. – С. 264-268.
6. **S. Boruk, I. Winkler, S. Gutt.** Drilling fluids thickening though changes in the inter-particle interaction // Annals of the Suceava University. – 2009. – Anul VIII, Nr.2.– P. 24-27.

© Егурнов А.И., Борук С.Д., 2011

*Надійшла до редколегії 05.05.2011 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. О.Д. Полуляхом*