

КИНЕТИКА гетероадагуляции **МИКРОЧАСТИЦ** СУСПЕНЗИИ НАМЫВНОГО ГЛИНИСТОГО грунта ПРИ **ОСВЕТЛЕНИИ** МОРСКОЙ ВОДЫ

Изучены закономерности гетероадагуляции микроскопических частиц высокодисперсного глинистого намывного грунта, отобранного на участке строительства морского порта. Гетероадагуляция осуществлялась на углеродной ткани и полиэстер-ткани, содержащей частички серебра. Наибольшей способностью улавливать частицы намывного грунта обладает Ag-содержащая полиэстер-ткань ($k = 3,4$ мин⁻¹). На углеродной ткани реализуется константа гетероадагуляции 0,43 мин⁻¹. Образование на кривой $k = f(n)$ «плато» свидетельствует о переходе в кинетическую область. Параболический вид $\Delta(t)$ -функций характерен для полиэстер-ткани, переходящий в S-образный. Гипотезой может служить увеличение каталитической способности по мере увеличения степени заполнения поверхности частицами адсорбата (автокатализ). Предложено покрывать полки тонкослойного наклонного отстойника полиэстер-тканью, что приведет к более полной очистке замутненной морской воды.

В.В. Тарасов*,
доктор химических наук, профессор, академик общественной Российской академии экологии, ФГБОУ ВПО Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева

Д.А. Ребане,
инженер химико-эколог, ФГБОУ ВПО Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева

С.К. Николаева,
кандидат геолого-минералогических наук, доцент, ФГОУ ВПО Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

Введение

Создание намывных территорий на морских мелководьях в целях расширения портовых и других полезных площадей является одним из актуальных направлений деятельности специалистов разного профиля — инженеров-геологов, строителей, инженеров-экологов и др.

Формирование намывных массивов осуществляется нагнетанием пульпы (из донного грунта и морской воды) на заранее отведенные и огороженные участки акваторий, примыкающих к берегу, в результате чего создается искусственная территория, пригодная для хозяйственного использования. В ходе намыва высокодисперсных глинистых грунтов (при отсутствии или дефиците песчаных разностей) возникают инженерно-геологические проблемы, связанные с ускорением их консолидации. Поэтому исследования состава и свойств намывных грунтов и методов их уплотнения и обезвоживания являются необходимыми [1-3].

В процессе углубления дна на участках подводных карьеров и создания массивов намывных грунтов землеснаряды выбрасывают огромное количество пульпы. Донный материал, содержащий частицы 5-10 мкм и более, относительно легко отдает воду. Однако глинистые частицы, характеризующиеся размером менее 1 мкм, трудно сепантируют. Это негативное явление ухуд-

*Адрес для корреспонденции: valeri_tarasov@mail.ru

шает водоотдачу и дифференциацию фаз, уменьшает прозрачность воды и может приводить к нежелательным сукцессиям.

Цель работы — пополнение данных о методе гетероадагуляции твёрдых микрочастиц на примере суспензии намывного глинистого грунта.

Материалы и методы исследования

Вещества в работе. Намывной глинистый грунт был отобран на участке строительства морского порта, где для намыва используются местные прибрежные глинистые отложения и морская вода. При отборе грунт находился в водонасыщенном состоянии и текучей консистенции, затем для удобства транспортировки был высушен до воздушно-сухого состояния. В лаборатории он был растерт в фарфоровой ступке пестиком с резиновым наконечником для получения порошковой пробы и сохранения структурных особенностей минеральных частиц.

Грунт с высоким содержанием кварца (выше 50 %), карбонатный, в валовом составе содержит около 20 % глинистых минералов

Е.Н. Огородникова,
кандидат геолого-минералогических наук, доцент, ФГОУ ВПО
Российский университет дружбы народов

с преобладанием иллита и невысоким содержанием каолинита, хлорита и смешанослойных иллит-сметитов. Присутствует высокодисперсная составляющая в виде аморфного кремнезема. Минералы и органическое вещество грунта являются по своим физико-химическим свойствам гидрофильными, хотя коэффициент гидрофильности имеет невысокие значения. Грунт слабо засолен. В составе водорастворимых солей грунта (по данным водной вытяжки) преобладает хлорид натрия, что соответствует составу морской воды.

Намывной техногенный грунт можно характеризовать как глину легкую пылеватую, содержащую 57 % частиц размером менее 5 мкм (из них 37 % частиц менее 1 мкм, включая 25 % коллоидной фракции), что обуславливает высокую дисперсность. Сопоставление данных гранулометрического и микроагрегатного анализов показывает, что грунт слабоагрегирован, в нем присутствуют в основном агрегаты размером 1-5 мкм. Свойственен коагуляционный характер связей между частицами. Коагуляционные структурные связи (действуют через гидратные пленки вокруг частиц) имеют невысокую прочность, легко разрушаются при внешнем воздействии (взбалтывании суспензии и т.п.) и способны самопроизвольно восстанавливаться при прекращении воздействия.

Высокая дисперсность грунта обуславливает низкие фильтрационные свойства и водоотдачу, в связи с чем, происходит его длительная консолидация и возникают значительные трудности при искусственном обезвоживании. Наличие в порах грунта в природном состоянии аморфного кремнезема еще больше снижает проницаемость грунта и существенно увеличивает его водоудерживающую способность, затрудняя уплотнение намытого материала.

Методика работы. Порошковая проба грунта легко превращается вновь в пульпу в трубке диспергатора IKA DI 25, которую можно видеть на фото статьи [4]. В нашем случае диспергатор работал при частоте вращения внутренней трубки, равной 9500 мин⁻¹ и интенсивности пульсаций давления 95000 мин⁻¹. Диспергатор может работать вплоть до частоты вращения 24500 мин⁻¹, но такая частота не требуется, поскольку при этом сильно нагревается пульпа и подвергаются истиранию детали головки S25N-18G, которая находится внутри статорной трубки диспергатора.

Таблица 1.

Влияние частоты вращения дисковой мешалки n и времени процесса на изменение оптического поглощения A при гетероадагуляции частиц намывного грунта на углеродной ткани

Время, мин	Частота вращения дисков адагулятора (n , об/мин) и величина оптического поглощения A					
	$n_1 = 200$	$n_2 = 400$	$n_3 = 800$	$n_4 = 1200$	$n_5 = 1600$	$n_6 = 2000$
t	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
1	0,95	0,9	0,32	0,29	0,34	0,33
3	0,75	0,52	0,13	0,07	0,095	0,13
5	0,58	0,23	0,045	0,04	0,05	0,075
7	0,37	0,14	0,03	0,03	0,05	0,055
10	0,23	0,07	0,025	0,025	0,05	0,045
13	0,16	0,035	0,025	0,025	0,05	0,04
15	0,13	0,025	0,025	0,025	0,05	0,03
20	0,07	0,02	0,025	0,025	0,05	0,03
25	0,05	0,02	0,025	0,025	0,05	0,03
30	0,03	0,02	0,025	0,025	0,05	0,03

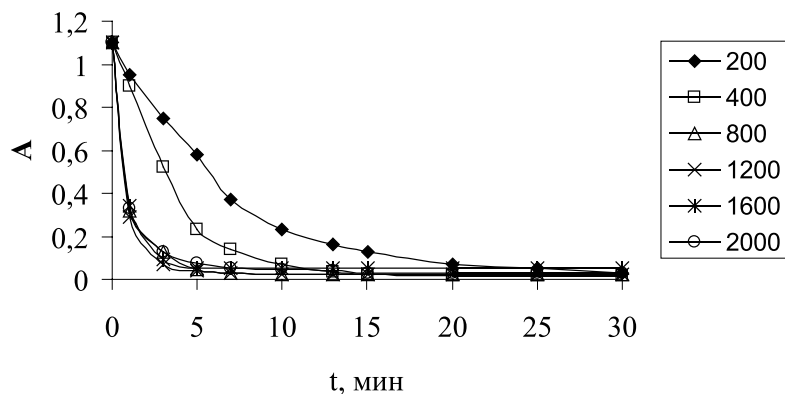


Рис. 1. Зависимость оптического поглощения A от времени и частоты вращения дисков мешалки (углеродная ткань).

Методика работы подобна той, которая описана для систем жидкость — жидкость [4, 6]. Взвесь твердых частиц намывного грунта количеством $\sim 0,5$ г и концентрацией ~ 1 г/дм³ получали размешиванием навески воздушно-сухого грунта в $0,5$ дм³ воды, всасываемой головкой распылителя. Затем находили область медленного оседания частиц грунта, чтобы не вводить поправок. Медленным оседанием считалось такое, при котором рассеяние света изменялось не более чем на 1–2 % за время эксперимента (30 мин). Если при выбранных условиях не удавалось найти «плато» оптического поглощения света, то увеличивали исходную навеску грунта, доводя её порой до 3 г. При этом не происходила свободная седиментация, которой мешала не только концентрация частиц, но и близость активных, т.е. поглощающих взвесь стенок.

Изменение концентрации частиц (поглощения света A , измеряемого периодически) формировало точки кинетической кривой — основы дальнейших расчетов. При этом принималась во внимание линейность графика $\ln A/A_0 = f(C)$, где C — концентрация частиц (г/см³), т.е. прямая пропорциональность в законе Бееера. Этот закон практически всегда выполнялся при концентрации суспензии < 3 г/дм³ несмотря на разнообразие форм частиц. Мы полагаем, что фрактальность, если и проявляется, то в нашем случае вносит малые поправки.

Установка та же, что рассмотрена в работах [4, 6]. В ней, однако, учитывается намного более существенная разность плотностей фаз. Если в случае систем «жидкость — жидкость» можно было подобрать систему с разностью плотностей, близкой к нулю

($\Delta\rho = \rho_o - \rho_b = 0$) и легко достигалось состояние искусственной «невесомости» микрокапель, то в системах «твёрдое — жидкость» этого сделать нельзя. Средняя плотность частиц намывного грунта составляет $2,73$ г/см³, и приходится учитывать намного более значительную скорость седиментации минеральных микрочастиц.

Материалы-коллекторы. Для улавливания из воды и последующей гетероадагуляции твердых микрочастиц применялись ткани углеродная и полиэстер. Углеродная ткань марки УТ-900-2,5, плотностью 240 ± 30 г/м² и толщиной монослоя $0,23$ мм. Полиэстер-ткань марки «Berber» соткана из нитей 100 %-ного полиэстера.

Материалы и методы исследования

Первичные эксперименты с гетероадагуляцией морского глинистого грунта. Некоторые результаты исследования гетероадагуляции частиц намывного грунта на углеродную и полиэстер-ткань при различных частотах вращения дисковой мешалки приведены в табл. 1, 2.

Видно, что лишь первые две кривые существенно отстоят от всех остальных, образующих плотный «жгут». Более того, точки кривой 2000 мин⁻¹ заметнее отстоят от оси абсцисс, чем точки кривой, соответствующей 800 мин⁻¹ (рис. 1). Эти результаты свидетельствуют о существовании двух режимов — переходного и кинетического, а также о заметной роли процесса «смывания» кластеров-зародышей при частоте 2000 мин⁻¹.

В табл. 2 приведены результаты исследования гетероадагуляции частиц намывного грунта на полиэстер-ткань. Очевидным является то, что лишь одна кривая при 200 мин⁻¹ (рис. 2) отщепилась от общего пучка кривых. Как и в предыдущем случае, результаты свидетельствуют о двух режимах процесса гетероадагуляции.

Очевидно, что автомоделный режим (т.е. режим, все точки которого ложатся на общую кривую, не зависящую от частоты вращения дисков n) наступает уже при столь низкой частоте вращения дисков мешалки (400 мин⁻¹).

Кинетика гетероадагуляции микрочастиц намывного грунта на углеродной ткани. Рассмотрим задачу осветления вод, образу-

Таблица 2

Влияние частоты вращения дисковой мешалки n и времени процесса на изменение оптического поглощения A при гетероадагуляции частиц намывного грунта на полиэстер-ткани

Время, мин	Частота вращения дисков адагулятора (n , об/мин) и величина оптического поглощения A					
	$n_1=200$	$n_2=400$	$n_3=800$	$n_4=1200$	$n_5=1600$	$n_6=2000$
t	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
1	0,95	0,64	0,58	0,62	0,58	0,66
3	0,85	0,5	0,4	0,44	0,46	0,4
5	0,68	0,27	0,28	0,29	0,33	0,25
7	0,6	0,17	0,23	0,18	0,23	0,19
10	0,5	0,12	0,2	0,15	0,17	0,13
13	0,42	0,09	0,17	0,15	0,15	0,13
15	0,38	0,085	0,14	0,12	0,13	0,1
20	0,28	0,075	0,11	0,1	0,075	0,08
25	0,22	0,065	0,095	0,015	0,05	0,06
30	0,18	0,065	0,085	0,015	0,025	0,04

ющихся при работе землеснаряда, в процессе гетероадагуляции микрочастиц намывного грунта.

Ниже приводятся Δ (функции), которые, как и требует наша модель [4-6], оказываются всеор прямыми линиями (рис. 3).

Следует напомнить, что означает величина Δ , и какого поведения от неё следует ожидать:

$$\Delta = \frac{1}{A_t} - \frac{1}{A_0} = kt$$

Функция $\Delta(t, n)$ означает разность двух величин. Первый из членов разности ведёт себя как гиперболическая функция вре-

мени. Второй член разности есть некоторая постоянная, не зависящая от времени. Результат разности этих величин ведёт себя как линейная функция времени. Вывод этого выражения и его применение приведены в работах [4-6].

Похожая зависимость на (рис.4) в тех же координатах была получена при гетероадагуляции микрочастиц чёрной сажи [7], осаждающихся из отбрасываемых дисками струй воды на ткань из полипропилена. Полученная в [7] зависимость не даёт объ-

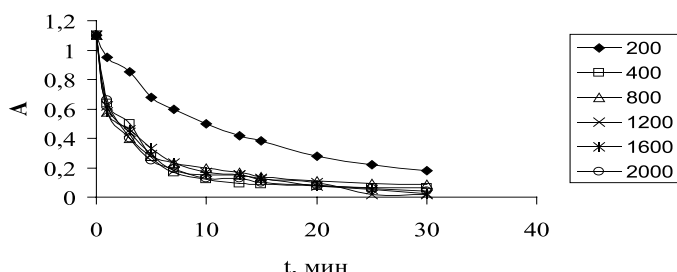


Рис. 2. Зависимость оптического поглощения частиц грунта от времени и частоты вращения дисков мешалки (полиэстер-ткань).

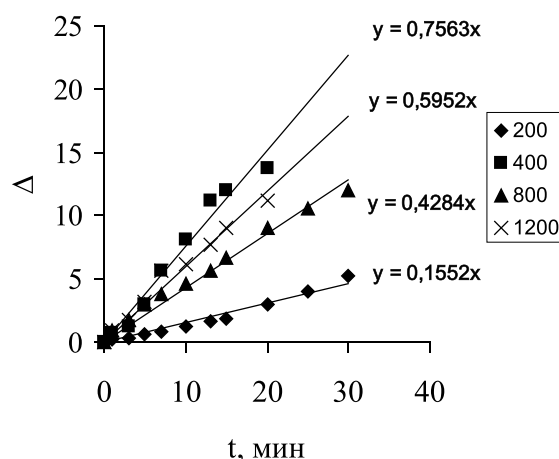


Рис. 3. Зависимость дельта-чисел гетероадагуляции частиц намывного грунта на углеродной ткани от времени и частоты вращения ротора гетероадагулятора.

яснения этому интересному явлению, хотя «перелет» неоднократно наблюдался в открытых системах [8]. Прежде всего, отметим, что повторяемость этого максимума не ниже 7 % относительных, т.е. образование максимума величиной $(0,75-0,4) 100/0,4 = 87,5$ % не следует считать случайным. Образование «плато» наблюдалось неоднократно. Оно объясняется переходом из диффузионной области, когда лимитирующей стадией является подведение вещества к местам образования «наростов». Образование и распад «наростов» агрегированных частиц под действием турбулентных пульсаций является лимитирующим процессом, обуславливающим образование «плато». Константа скорости на «плато» равна $0,43 \text{ мин}^{-1}$.

Кинетика гетероадагуляции микрочастиц намывного грунта на полиэстер-ткани. При исследовании гетероадагуляции частиц намываемого донного грунта решалась задача осветления вод, образующихся при работе землеснаряда, поскольку твердые частицы склонны к долгому витанию и стекающая вода загрязняет ими морскую воду, нанося существенный экологический ущерб.

В этом случае функция $\Delta(t)$ даже при самых низких частотах вращения дисков адагулятора имеет параболический вид (рис. 5). С увеличением частоты вращения дисков до 800 мин^{-1} величина $\Delta(t)$ начинает почти линейно возрастать со временем (рис. 5). Это означает, что константа скорости адагуляции (наклон $\Delta(t)$ — функции) на полиэстер-ткани достигает предела, что свидетельствует о возможности достижения высокой производительности данного метода.

Коэффициенты скорости k достигают постоянного значения (рис. 5) (конвергируют в жгут после частоты 800 мин^{-1}), что свидетельствует об автомодельном режиме. Мы полагаем, что автомодельность отражает кинетический режим. Но, в отличие от обычного представления кинетического режима в виде функции $k = f(n)$, в данном случае будет рассмотрено возникновение жгута S-образных кривых как свидетельство кинетического режима. Можно найти значение k_{max} в точке перегиба, и это значение оказалось равным $k_{\text{max}} \approx 3,4 \text{ мин}^{-1}$.

По прошествии 1 мин можно найти предельные значения функции $k_{n=1 \text{ мин}}$, равные $0,78 \div 0,82 \text{ мин}^{-1}$. Функция $k = f(n)$ при $n=1 \text{ мин}$ представлена во всём изученном диапазоне чисел n на рис. 6.

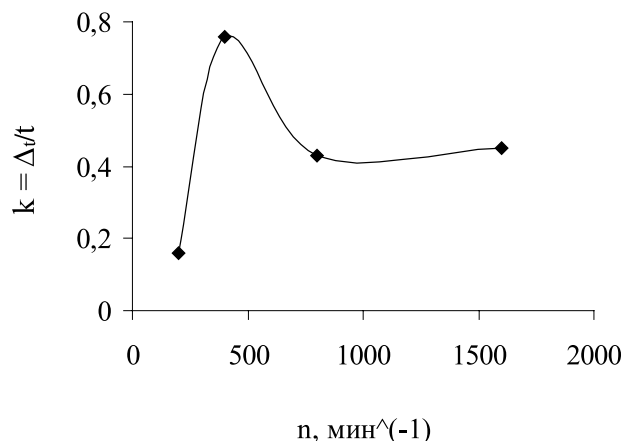


Рис. 4. Характерная для открытых систем кривая с «перелётом» константы скорости k . Наклон прямых (рис. 3) как функция частоты вращения дисков адагулятора — n . Углеродная ткань.

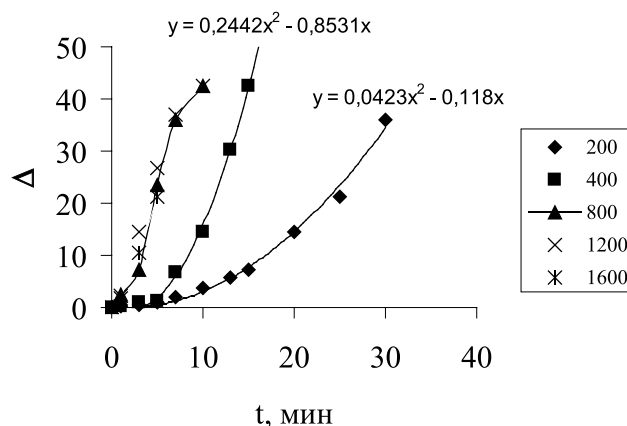


Рис. 5. Кинетика гетероадагуляции частиц намывного грунта на полиэстер-ткани с наночастицами серебра. Проявление автокатализа: S-образная кривая и процесс насыщения.

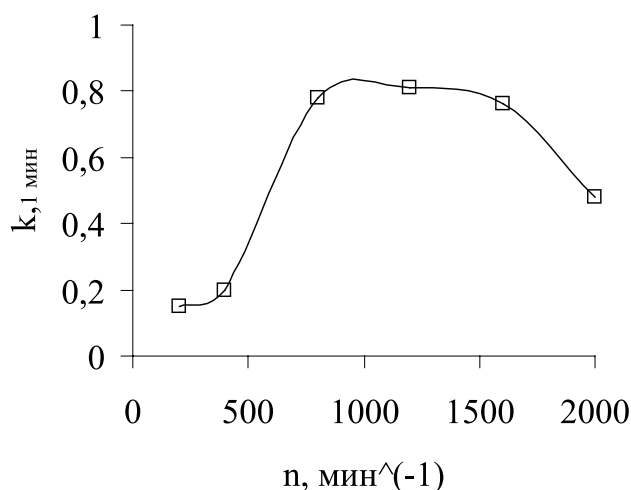


Рис. 6. Зависимость коэффициента и константы скорости $k_{1 \text{ мин}}$ гетероадагуляции частиц грунта на полиэстер-ткани. Максимальное значение $k_{1 \text{ мин}}$ составляет $0,78-0,82 \text{ мин}^{-1}$.

Таблица 3

Данные о гетероадагуляции твёрдых микрочастиц

№ п/п	Частицы, внесённые в воду	Коллектор	Оптимальная частота вращения дисков, мин ⁻¹	k_{\max} , мин ⁻¹
1a	Каолин	Алюминиевая фольга	400	0,088
1b	Каолин	Углеродная ткань	800	3,12
1c	Каолин	Полиэстер-ткань марки «Seragem» с Ag	1200	S-образная кривая. $k_{\max} \approx 4,3$ мин ⁻¹ в точке перегиба
2a	Оксид цинка	Алюминиевая фольга	800	2,31
2b	Оксид цинка	Углеродная ткань	800	2,56
2c	Оксид цинка	Полиэстер-ткань марки «Seragem» с Ag	2000	4,00
3a	Чёрная сажа	Полипропилен	800	0,92
3b	Чёрная сажа	Полиэстер-ткань марки «Seragem» с Ag	2000	19,6
4a	Алюминиевая пудра	Полиэстер-ткань марки «Seragem» с Ag	800	1,75
5a	Намывной глинистый грунт	Полиэстер-ткань марки «Seragem» с Ag	200	S-образная кривая. $k_{\max} \approx 3,4$ мин ⁻¹ в точке перегиба
5b	Намывной глинистый грунт	Углеродная ткань	400	0,76/0,43

После плато наблюдается заметное уменьшение константы скорости при увеличении частоты вращения дисков до 2000 мин⁻¹, что объясняется разрушением турбулентными пульсациями кластеров, зарождающих «наросты» агрегированных частиц на ткани.

В дополнение к результатам гетероадагуляции микрокапель, полученным в [4], в табл. 3 приведены данные о гетероадагуляции твёрдых частиц.

Твёрдые вещества были внесены в воду в виде пульпы и тут же подверглись дроблению (диспергированию) и размешиванию во всём объёме реактора. Длительность процесса 15 мин, частота вращения диспергатора 9500 мин⁻¹. Концентрации твёрдых частиц не больше 1 %.

Из таблицы видно, что поведение абсолютно круглых микрокапель и абсолютно неровных частиц, поверхность которых можно описывать только фрактальными методами, не зависит от вида фрактальных функций.

Задание на проектирование тонкослойного модернизированного отстойника. Тонкослойный отстойник обычно делится наклонными пластинами на ярусы глубиной 45-110 мм. Наклон пластин в 45-60° к гори-

зонт обеспечивает сползание накопившегося осадка из ярусов в уплотнитель осадка, а всплывающие укрупненные капли нефтепродуктов поступают на поверхность воды. Устройство ярусов в отстойнике-нефтеловушке таково, что одновременно с уменьшением объема этого аппарата обеспечивается стабильность потока жидкости. Отстаивание в тонких слоях потока жидкостей протекает быстрее, поскольку путь осаждающихся частиц в 10-50 раз меньше, чем в емкостных отстойниках. Тонкослойные отстойники являются более компактными и требуют меньшей площади очистных сооружений. Преимущество тонкослойных отстойников также в том, что наличие параллельных пластин в сечении отстойника позволяет равномерно распределить поступающий поток воды и сохранить это распределение по всей длине. Следовательно, в многоярусных отстойниках коэффициент использования объема гораздо выше. Сравнительные испытания очистки сточных вод с исходной концентрацией нефтепродуктов 100 мг/л в емкостных и тонкослойных отстойниках равного объема показали преимущество тонкослойного отстаивания. Концентрация на выходе из тонкослойного отстойника достигает 10-15 мг/л, а из нефтеловушки обычной конструкции — 45-50 мг/л. Следовательно, применение тонкослойных

отстойников вместо емкостных позволяет повысить эффективность очистки сточных вод от нефтепродуктов с 55 % до 85 %.

Привлекательной могла бы быть конструкция многоярусного отстойника модернизированного типа для очистки от глинистого материала, частицы которого отличаются особо малой тониной (высокой дисперсностью). Предлагаемый нами отстойник обладает двумя нововведениями: 1) покрытием полок полиэстер-тканью (оклеиванием); 2) введением технологического цикла работы — стадии рециркуляции.

Первое усовершенствование рассчитано на отделение от морской воды самой мелкой фракции частиц (~ 1-2 мкм и менее). Полиэстер-ткань показала наилучшие качества в процессе гетероадагуляции высокодисперсного глинистого материала.

Второе усовершенствование — организация рециркуляции замутнённой морской воды с целью достижения оптимальной скорости потока водной фазы между полками. В каждом конкретном случае она будет иметь своё значение, которое надо найти в промышленном опыте. Конечно, рециркуляция уменьшает производительность аппаратуры, если она выражается без учёта степени очистки водного потока от микрочастиц. При этом потребуются расходомеры и регуляторы скорости потока. Вполне возможно, что для достижения требуемой степени очистки потребуется тандем последовательно включённых аппаратов. Количество их находится экспериментально.

Идея всей обвязки такова. Выбрасываемая на поверхность земли пульпа в конечном итоге распадается на несколько потоков. Наша задача состоит в сборе мутной воды в единую ёмкость, откуда вода поступает на вход тандема тонкослойных отстойников с полками, оклеенными подходящей тканью.

Тонкослойный отстойник, представленный в [9], является прямоточным по извлекаемым нефтепродуктам и противоточным по оседающим взвешенным веществам.

Заключение

Изучены физико-химические характеристики намывного морского грунта. Его можно характеризовать как глину легкую пылеватую, содержащую 57 % частиц

Ключевые слова: гетероадагуляция, микрочастицы, намывной грунт, углеродная ткань, посеребрённая полиэстер-ткань, тонкослойное отставание, степени очистки, Δ-функция, Al пудра

размером менее 5 мкм (из них 37 % частиц менее 1 мкм, включая 25 % коллоидной фракции), что обуславливает высокую дисперсность. Сопоставление данных гранулометрического и микроагрегатного анализов показывает, что грунт слабоагрегирован, в нем присутствуют, в основном, агрегаты размером 1-5 мкм.

Гидрофильные частицы, подходя к гидрофобной поверхности коллектора, теряют молекулы воды, причем движущей силой потери является увеличение отрицательной энергии Гиббса вследствие таких процессов, как образование донорно-акцепторных, водородных связей или гидрофобных взаимодействий, которые всегда приводят к уменьшению энтропии [5]. Потеря воды происходит при адсорбции микрочастиц ведущими кластерами, расположившимися на выступах гидрофобного материала коллектора, в местах разрывов нитей и их перехлестов. В этих местах начинается образование «ведущих кластеров», а затем и «наростов» твёрдых частиц, теряющих воду. Достигнув критического размера, «наросты» распадаются на отторгнутые ассоциаты частиц и ту часть «нароста», которая продолжает «цепь». При замене воды любым неполярным растворителем, например, керо-

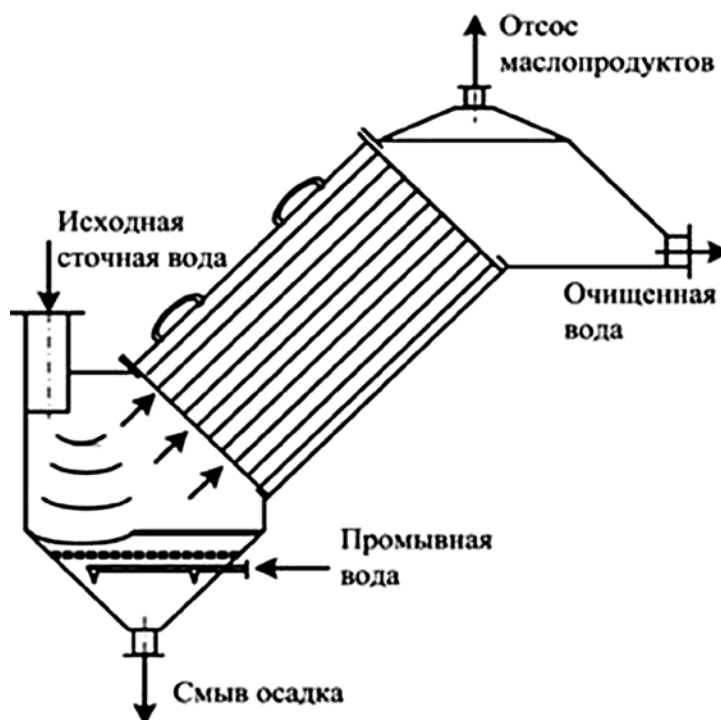


Рис. 7. Схема предлагаемого аппарата [9] — тонкослойный наклонный отстойник с пластинами-полками, покрытыми полиэстер-тканью.

сином или соляжкой, возможность сбора микрочастиц на поверхности любого коллектора является проблематичной.

Если достигается постоянство таких зависимостей, как $k = f(n)t$ или происходит стягивание в жгут любого набора линий типа $A(t)$ и $\Delta(t)$ (рис. 1, 2, 5), то считают, что реализуется кинетический режим. Лимитирующей стадией в кинетическом режиме становится процесс распада «наростов».

S-образная форма кривых гетероадагуляции не является свойством материала коллектора или свойством адагулируемых микрочастиц на что указывают эксперименты с полиэстер-коллектором и изменением природы микрочастиц. Вероятно, S-образные кривые возникают в специфичных условиях, в которых играет роль и материал коллектора, и природа микрочастиц.

Важной проблемой является создание высокоэффективного отстойника, способного улавливать субмикронные капли и твердые микрочастицы. Успех в создании такого отстойника полностью зависит от правильного выбора тканевого материала коллектора. Современная текстильная промышленность располагает огромным набором материалов, среди которых материал, использованный в данной работе, не является оптимальным. Можно предсказать, что полиэстер должен быть многослойным, имеющим наружный слой с начесом. В этом случае удастся улавливать субмикронные частицы из воды и получать высокие кинетические характеристики.

Литература

1. Огородникова Е.Н. Техногенные грунты / Е.Н. Огородникова, С.К. Николаева. М.: Изд-во Московского университета. 2004. 280 с.
2. Николаева С.К. Массивы намывных грунтов — источник техногенной опасности / С.К. Николаева, Е.Н. Огородникова // Геоэкология. 2012. № 3. С. 256-263.
3. Петрографический словарь. Ред. Петров В.П. и др, М.: Недра, 1981. 496 с
4. Тарасов В.В. Применение метода гидродинамической гетероадагуляции для очистки воды от микрокапель и для исследования кинетики их взаимодействия с твердыми поверхностями // Теор. осн. хим. технологии. 2010. Т. 44. № 5. С. 483-497.
5. Зимон А.Д., Лещенко Н.Ф. Коллоидная химия / А.Д. Зимон, Н.Ф. Лещенко .М.: Агат, 2001. 317 с.
6. Тарасов В.В. Модель гетерогенной гидродинамической коагуляции микрокапель / В.В. Тарасов, Н.Ф. Коваленко, Н.Е. Кручинина, С.А. Шилин // Ж. прикл. химии. 2006. Т. 79. Вып. 8. С. 1300-1304.
7. Тарасов В.В. Модели гетерогенной гидродинамической коагуляции в присутствии второго растворителя / В.В. Тарасов, С.А. Шилин, С.Д. Дзамашвили // Теор. осн. хим. технологии, 2007. Т. 41. № 2. С. 191-196.
8. S.R. de Groot. Non-equilibrium Thermodynamics / S.R. de Groot, P. Mazur. Non-equilibrium Thermodynamics. North-Holland, Amsterdam, 1962. 468 p.
9. Транснациональный проект. «Отстойники». <http://www.hydropark.ru/equipment/settler.htm>

V.V. Tarasov, D.A. Rebane, S.K. Nikolaeva, E.N. Ogorodnikova

HETEROADAGULATION KINETICS OF SUSPENSION MICROPARTICLES OF INWASH CLAYEY SOILS IN THE PROCESS OF SEA WATER CLARIFICATION

The heteroadagulation of inwash soil particles was studied. The particles precipitated very hard because have size about 1 μ . Heteroadagulation onto carbon fabric and polyester fabric containing Ag nanoparticles was carried out. The polyester fabric had maximal possibility to collect microparticles of bottom material ($k=3.4 \text{ min}^{-1}$). Constant of heteradagulation on carbon fabric was 0.43 min^{-1} . Appearance of plateau on curve $k=f(n)$ gives evidence of transition to kinetic regime (region). $\Delta(t)$ -function of polyester fabric modified from parabolic to S-shaped form. The effect may be explained by increasing of catalytic activity in occupation process of the surface by adsorbing particles (autocatalysis). It has been proposed to cover shelves of thin layer settler with polyester fabric to enhance its capacity and water purification from very thin particles.

Key words: heteroadagulation, microparticles, inwash soils, carbon fabric, Ag-containing polyester-fabric, settler with shelves, purification degree, Δ -function, aluminum powder