

ОСОБЕННОСТИ КИНЕТИКИ ОЧИСТКИ ВОДЫ от микрокапель дизельного топлива МЕТОДОМ гетероадагуляции на углеродной ткани

Рассмотрены особенности кинетики гидродинамической гетероадагуляции (ГГА) микрокапель солярки радиусом 0,4–6 мкм на углеродной ткани. Укрупнение микрокапель приводит к существенному ускорению очистки воды от примеси солярки и способствует увеличению производительности отстойников, как гравитационных, так и дисковых, разрабатываемых нами. Процесс ГГА может ускорить очистку воды от микрокапель солярки в сотни раз. Однако имеется целый ряд особенностей, которые необходимо учитывать при осуществлении процесса очистки. Важным свойством кинетики ГГА является запаздывание процесса с образованием ступеней и осцилляций. Рассмотрены вербальные модели свойств кинетики гетероадагуляции.

Введение

Гидродинамическая гетероадагуляция (ГГА) – перспективный процесс быстрой очистки водных сред от микрокапель и микрочастиц, который не нуждается в расходе реагентов и тепла, требуется лишь правильная организация потоков и использование стенок, покрытых подходящим материалом. Аппаратура и методология работы с использованием этого метода подробно описаны в [1]. Не столь объёмные, но весьма важные работы по гетероадагуляции представлены в работах [2-5].

Термин «гидродинамическая гетероадагуляция» включает сочетание трех слов: 1) гидродинамический, 2) гетерогенный и 3) адсорбционный. Так получается аббревиатура ГГА.

В широко применяемом и исследуемом родственном процессе гетерокоагуляции [6, 7] сталкиваются капли двух фаз, существенно различающихся по размерам и могущих иметь разную природу и подвижности.

Н.Ф. Коваленко,
кандидат технических наук, доцент кафедры процессов и аппаратов химической технологии, ФГБОУ ВПО Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева

В процессе ГГА улавливающая фаза всегда неподвижна. Примером могут служить стенки аппарата, эмульсия же находится в подвижном состоянии. С точки зрения гидродинамики такой способ взаимодействия имеет некоторые преимущества, т.к. при этом достигаются высокие скорости движения мелких частиц и капель относительно неподвижных предметов (стенок, отражательных перегородок и т.п.). При этом возникает дополнительная возможность эффективного управления скоростью относительного движения диспергированных частиц и неподвижных предметов. По достижении предельных возможностей конвективной диффузии частиц, процесс переходит в кинетическую область, в которой его дальнейшее ускорение возможно только за счет увеличения размера поверхности и ускорения поверхностных физико-химических стадий.

В данной работе исследуются процессы с участием микрокапель солярки – продукта, широко применяющегося в качестве дизельного топлива. В силу своего широкого применения и не вполне аккуратного обращения солярка – наиболее существенный загрязнитель акваторий и почв. Как нефтепродукт, содержащий ароматические углеводороды, она обладает очень низкими значениями ПДК из-за её негативного воздействия на гидробионты.

Особенно существенное и трудноустраняемое воздействие оказывают микрокапли солярки, которые образуются при частых ее разливах в условиях штормового состояния акваторий. Очистка воды от микрокапель – весьма трудная задача. Однако она выполнима с использованием методов ГГА, анализ которых про-

* Адрес для корреспонденции: valeri_tarasov@mail.ru

веден в работе [1]. Этим методом возможна также очистка мутных рафинатов экстракционных процессов радиохимических производств.

Муть, основой которой являются микрокапли и твердые микрочастицы, постепенно собирается в гелеобразные “шапки”, известные в англоязычной литературе под названием трудно переводимого слова “stud” [8]. В нашей литературе оно известно как “медуза”. Это слово знают все радиохимики, поскольку в “медузах” концентрируются опасные осколочные элементы. Именно поэтому очистка водной фазы от микрокапель и микрочастиц является насущной проблемой, которую мы решаем путем очистки экстракционных фаз от микроэмульсий и микродисперсий.

Задача данного исследования состоит в том, чтобы выявить все особенности процесса ГГА, которые возникли в изученных условиях.

Материалы и методы исследования

Получение кинетических кривых ГГА описано в работах [9-15]. Особенно всеобъемлющий обзор методов, методологии исследования процессов ГГА и обработки полученных результатов отражен в [1].

Проводимые в настоящей работе исследования включают два этапа: 1) получение микрокапель солянки и хлорбензола при больших частотах вращения ротора диспергатора (до 24500 мин⁻¹) и частоте пульсаций в 10 раз больше; 2) коагуляцию капель с использованием гетероадагулятора при частоте вращения его дисков, не превышающей $n = 2000$ мин⁻¹. Применение дисков принципиально, поскольку они не турбулизируют эмульсию. При определенных частотах вращения дисков наступает “насыщение” и дальнейшее ускорение процесса не очень существенно интенсифицирует гетероадагуляцию, а может даже уменьшать её скорость. Лопастные мешалки намного раньше приводят к полному смешению эмульсии, что не способствует гетероадагуляции, которая осуществляется на углеродной ткани. Применение последней обязательно, поскольку она существенно интенсифицирует процесс гетероадагуляции.

Фотосъёмка микрокапель осуществляется по методу лунки или висячих капель [9-15]. Выражение $\Delta = 1/A_t - 1/A_0 = kat$, используемое в дальнейшем в кинетических исследованиях, выведено нами в предположении того, что лимитирующей стадией является SV-процесс, т.е. реакция, происходящая “прямым” ударом капельки, набегающей из объема вод-

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

ной фазы в каплю на поверхности. Но даже если будет лимитировать не эта реакция, а приток или отток, применимо выражение $\Delta = -\beta a (c_t - c_0) = -\beta a (A_t - A_0) = kat$. SV-процесс является намного более вероятным, чем VV-процесс, т.е. встреча двух микрокапель при низкой их концентрации. Этим и высокими скоростями встречи объясняется эффективность SV-процесса.

Микроснимки эмульсий

Была предпринята попытка получить множественную эмульсию типа “вода – масло – вода” (рис. 1), но, как показывает левый (рис. 1а), эта попытка не увенчалась успехом. Сначала мы получали микроэмульсию типа “вода в масле”, для чего в 100 см³ солянки диспергировали 5 см³ воды при 20500 мин⁻¹ в течение 15 мин. Затем эмульсию “вода в масле” добавляли в большой объем воды при не очень интенсивном перемешивании (9500 мин⁻¹). Соотношение фаз было таким: к 100 см³ воды приливали 2,5 см³ эмульсии “вода в масле”. Длительность перемешивания равнялась 30 мин. Результирующая концентрация солянки ~2,38 %.

Более светлый снимок (рис. 1б) был сделан, используя эмульсию концентрацией 2,5 % солянки в воде. Интенсивность перемешивания 13500 мин⁻¹, длительность перемешивания – 30 мин⁻¹.

Вид микрокапель существенно отличается на снимках, полученных различными способами, однако кинетика гетероадагуляции была почти одной и той же. Правый снимок (рис. 1б) содержит большое количество крупных капель, т.е. эмульсия является неоднородной.

На снимке (рис. 1а) можно видеть более “гомогенную” эмульсию. Как окажется, гистограммы этих эмульсий значительно отли-

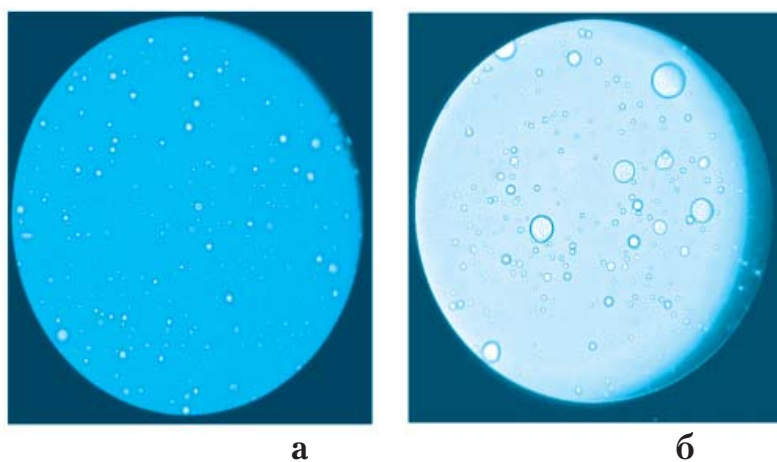


Рис. 1. Изображение капель солянки, полученное при частотах вращения ротора диспергатора 20500 мин⁻¹ + 9500 мин⁻¹ («а») и 13500 мин⁻¹ («б»).

чаются и это приведет к образованию для эмульсии типа «а» кинетических кривых, которые будут более равномерно распределены по времени и по интенсивности вращения дискового ротора гетероадагулятора.

Гистограмма объёмных долей микрокапель

Эмульсию наносили на стекло с лункой. Получены 20 микрофотографий, чтобы иметь представительную пробу, из которой извлекли средние значения и сделали вывод, что множественную эмульсию не удастся получить без стабилизаторов.

Гистограммы объёмных долей микрокапель f_d в зависимости от их радиуса r_d , выраженного в мкм. Для полученной гистограммы характерно нечёткое двухмодальное распределение. Причем, меньшая мода находится на пределе выполненных измерений, и нет уверенности в завершённости ряда статистических величин. Вместе с тем, можно сказать, что первая мода лежит на значении диаметра капель d_d , равном 2 мкм, а вторая (не очень чёткая) мода лежит на значении 16,8 мкм. Быть может, на этом значении не обрывается распределение.

Очевидно, что распределение объёмных долей намного более информативно, чем счетных (частотных) величин. В частности, удалось увидеть вторую моду и длинный “хвост”, свидетельствующий о растянутости распределения. Это означает, что отдельные очень крупные капли возникают, скорее всего, как результат их гетероадагуляции при столкновении мелких капель с углеродной тканью.

Кинетические кривые гетероадагуляции

1. Кинетические кривые “неоднородных” эмульсий

Исследование кинетических кривых очистки воды от микроскопических капель солянки проводилось при интенсивностях вращения мешалки реактора-гетероадагулятора 0-2000 мин⁻¹. Условия эксперимента таковы: дисперсионная среда вода, диспергируемое вещество – солянка в концентрации 2,5 %, интенсивность диспергирования 13500 мин⁻¹, интенсивность гетероадагуляции – переменная. Она указана на рис. 1 (неоднородная эмульсия «б»).

Особенности кинетических кривых полученной эмульсии состоят в том: 1) что асимптоты кривых не достигают и 85 % (при $n = 1200$ мин⁻¹); 2) при 800 мин⁻¹ происходит внезапное уменьшение степени очистки; 3) при 1800 мин⁻¹ проявляется процесс образования “плато” на кинетических кривых гетероадагуляции; 4) при 2000 мин⁻¹ образуется такая же “крутая” кинетическая кривая, как

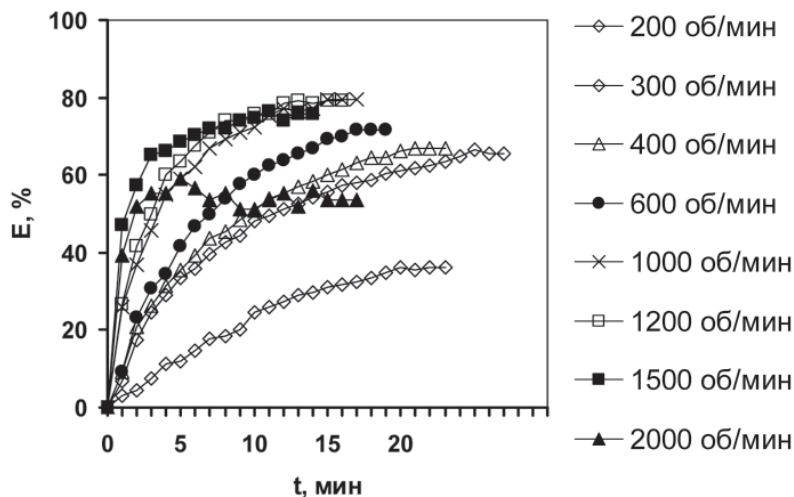


Рис. 2. Зависимость степени осветления эмульсии солянки от интенсивности вращения дисковой мешалки реактора гетероадагулятора (кинетические кривые). Неоднородная эмульсия.

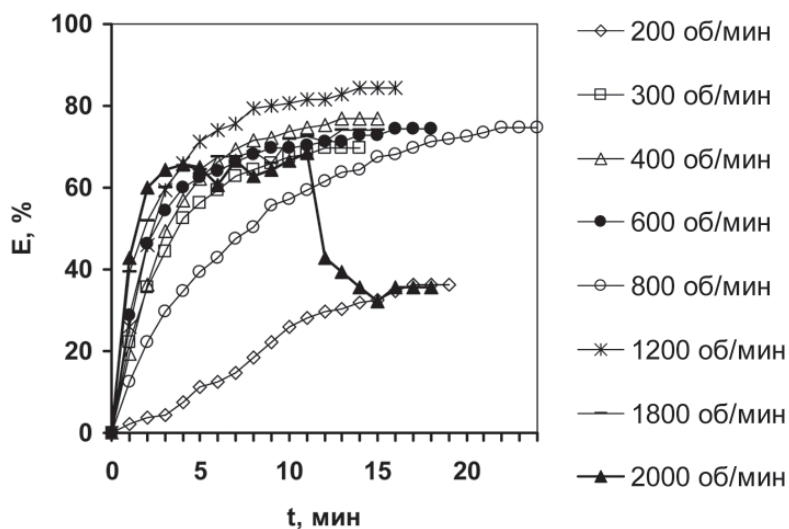


Рис. 3. Зависимость степени осветления эмульсии солянки от интенсивности вращения дисковой мешалки реактора гетероадагулятора (кинетические кривые). Однородная эмульсия.

и при 1800 мин⁻¹, но которая, пройдя через максимум, образует “плато” на высоте ~ E = 30 % (рис. 2).

2. Кинетические кривые “однородных” эмульсий.

Кинетические кривые (рис. 3) получены с помощью эмульсии «а», т.е. при использовании “гомогенной” эмульсии. Её гетероадагуляция обладает теми же особенностями, что и гетероадагуляция при “неоднородной” эмульсии, исключая отсутствие эксцесса, который наблюдался при частоте вращения дисков 800 мин⁻¹. Как и в предыдущем случае, при частоте > 1000 мин⁻¹ начинают отчетливо проявляться процессы обратимости, т.е. включается процесс редиспергирова-

ния. Состояние 100 %-ой степени очистки от микрокапель оказывается недостижимым за одну стадию ни в случае эмульсии «а», ни эмульсии «б».

Величина коэффициента скорости (в частном случае константы) k_n , т.е. начальный угол наклона кинетических кривых, достигает предельного значения, что, однако, не может считаться достижением величины константы скорости. Асимптота наклона кривой $E = f(t)$, равна $\sim 0,45 \text{ мин}^{-1}$, что, тем не менее, мы не можем принять за величину, определяющую кинетический режим. Этот режим достигался, например, при гетероадагуляции микрокапель хлорбензола, когда константы скорости принимали значения порядка $0,7-0,8 \text{ мин}^{-1}$.

Особенные кинетические зависимости процесса ГГА

Ступени, отчетливые в экспериментах 2008-2009 гг. [12, 13] (рис. 4), со временем исчезли. Появление ступеней было объяснено остановками дискового ротора гетероадагулятора при отборе проб. Предпринятые попытки получить их вновь увенчались успехом при использовании системы «хлорбензол – рассол NaCl» в условиях относительной «невесомости» (рис. 5), когда плотность водной фазы и хлорбензола сравнивались путем растворения в воде 142 г/дм^3 поваренной соли.

Наблюдающиеся кинетические кривые гетероадагуляции микрокапель хлорбензола показаны на рис. 5.

Функции $E = f(t)$ обладали следующими свойствами:

1) отчетливо выделялась ступень на самой верхней кинетической кривой; за первой ступенью намечалась вторая, достигающая 100 %-ого извлечения микрокапель, 2) следу-

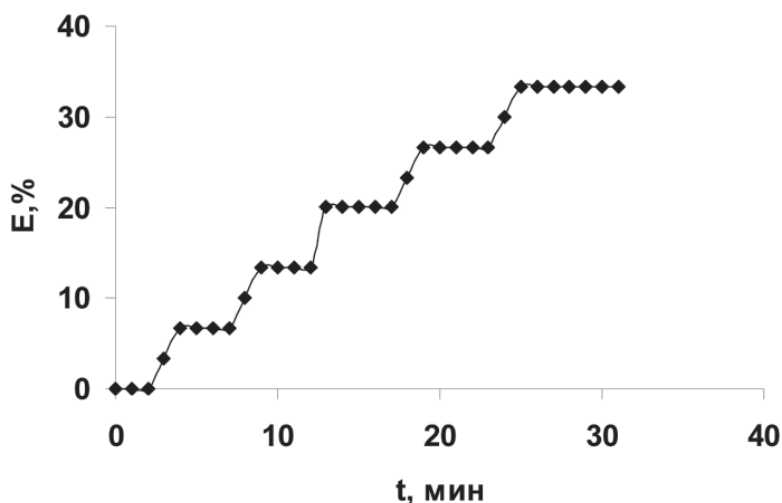


Рис. 4. Ступенчатая «кинетическая» кривая, полученная в 2009 г. на соляровом масле при частоте вращения дисковой мешалки 200 мин^{-1} .

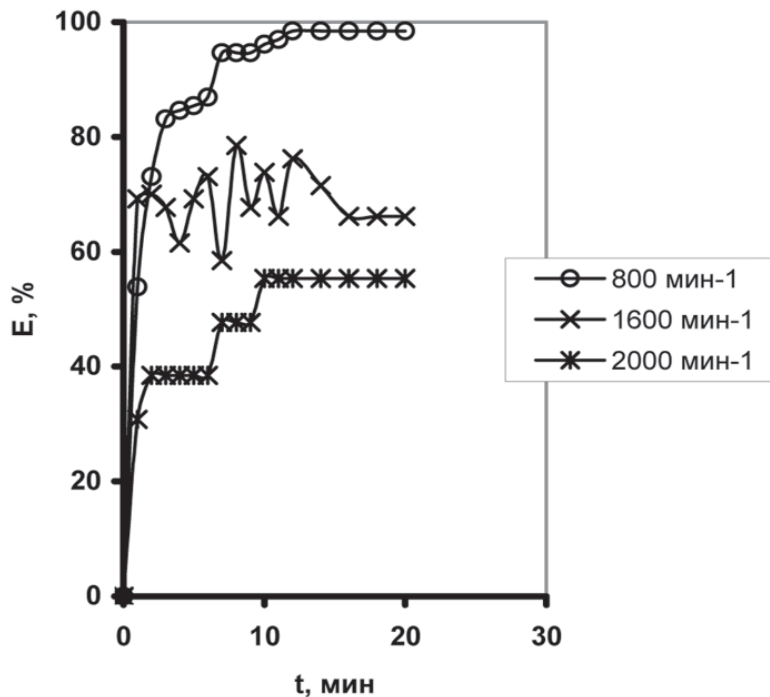


Рис. 5. Функция $E = f(t)$ при различных значениях степеней очистки в условиях равенства плотностей фаз.

ющей шла функция с осцилляциями; она появляется, видимо, когда движущая сила гетероадагуляции и редиспергирования сравнивались и 3) последней показана трехступенчатая кривая, полученная при 2000 мин^{-1} . Важно отметить, что абсциссы подъёмов первой и второй ступеней одинаковы на верхней и нижней кривых. Этот факт имеет решающее значение и не позволяет трактовать явление как случайное. Обсуждение, чем обусловлены ступени функции $E = f(t)$ (рис. 4, 5) и гармоника $\Delta = f(n)$ – функций (рис. 6, 7), приведено далее.

Ежеминутный разрез (рис. 6) $E=f(n)$ –функций гетероадагуляции «однородной» эмульсии типа «а», имеет глобальный максимум при частоте вращения дисков гетероадагулятора – $1400-1500 \text{ мин}^{-1}$. На «гладкую» кривую $E=f(n)$ с растянутым максимумом накладывается квазигармоническая составляющая, природа которой будет обсуждена ниже.

Ещё одна функция представляет исключительный интерес. Обычно Δ -функция ($\Delta = f(t)$) – линейна, а её анаморфоза вида $\Delta = 1/A_t - 1/A_0 = kat$, чаще всего, проходит через плавный максимум. Здесь величины A_t и A_0 – поглощение света в момент времени t и самом начале измерений – 0. Нам удалось наблюдать кривую с острым максимумом и «крыльями». Эта кривая модулирована гармоническими колебаниями (рис. 7). Такие явления требуют объяснения.

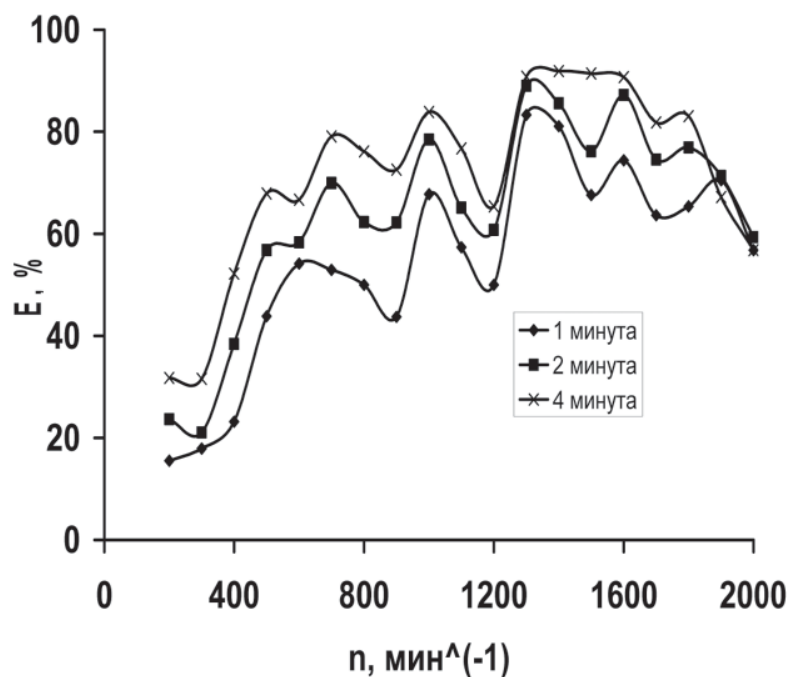


Рис. 6. Изображение функций $E = f(n)$ в первые минуты. Эмульсия “солярка – вода” получена при частоте вращения вала диспергатора 13500 мин^{-1} .

Вербальные модели ступенчатого и гармонического процессов

Опубликованные данные [1, 13] по кинетике в системе “солярка – мазут – вода” ставят под сомнение их начальное объяснение и утверждение, что ступени исключаются только при безостановочном отборе проб. Позднее ступенчатые кривые гетероадагуляции получены и при устранении остановок (рис. 4), а потом чёткие ступени обнаружены и при гетероадагуляции хлорбензола на предельной частоте вращения ротора гетероадагуляции и отсутствии относительной тяжести (рис. 5).

Запаздывание поглощения микрокапель из эмульсии – это время, необходимое для формирования капельных кластеров, размещающихся в щелях и капиллярах, служащих для зарождения и развития “наростов”, которые образуются смесью из субмикронных и микронных капелек.

Повторяемость ступенчатых кривых длительное время была хорошей, но со временем ухудшалась. От ступенчатой кривой оставалась только “подошва” – начальная запаздывающая часть, т.е. та часть кривой, которая совпадает с осью абсцисс (ширина её в нашем случае (рис. 4) равняется 2 мин). Ширина (глубина) “полочки” ступени менялась в широком диапазоне и составляла от 2 до 7 мин (т.е. изменялась в 3,5 раза). Столь большую погрешность и её разброс нельзя рассматривать как результат случайностей –

его нужно отнести к “выбросам”, имеющим физико-химическую природу. Но погрешность определения высоты ступени не превышала 1,5 %.

Формирование “подошвы” присуще также и кинетическим кривым процесса ГГА при очистке воды от микрокапель три-н-бутилфосфата и ди-2-этилгексилфосфорной кислоты. Ширина “подошвы” в первом случае составляет 2,5 мин., во втором – 4 мин [1].

Понятно, что такие лаг-фазы имеют большое практическое значение, например, при экстракции редких и радиоактивных элементов. Они резко уменьшают эффективность многоступенчатой массообменной аппаратуры.

Объясняя ступенчатую кривую, мы должны ответить на три основных вопроса: 1) какова природа “подошвы”; 2) почему образуется горизонтальная часть ступени – полочка и 3) какие процессы запускают, а также останавливают внезапный рост и столь же внезапное прекращение роста ступени.

Солярка, как и вода, способны растекаться по углеродной ткани, оставляя “лужи” названных компонентов. В свою очередь, эти “лужи” так же внезапно могут покрыть всю поверхность углеродной ткани. Такое явление мы объясняем высокой чувствительностью напряжения растекания компонентов по твердой поверхности [17] к состоянию ткани, смоченной водой или органической фазой ($\sigma^{ow(s/w)}$ или $\sigma^{ow(s/o)}$). Здесь надстрочные знаки s/w и s/o означают, что ткань смочена водой или органической фазой. Явление уже описано нами в работе [1].

В том случае, когда вода покрывает всю поверхность сплошным (вполне возможно, мономолекулярным слоем [11]), падающие на поверхность капли солярки полностью

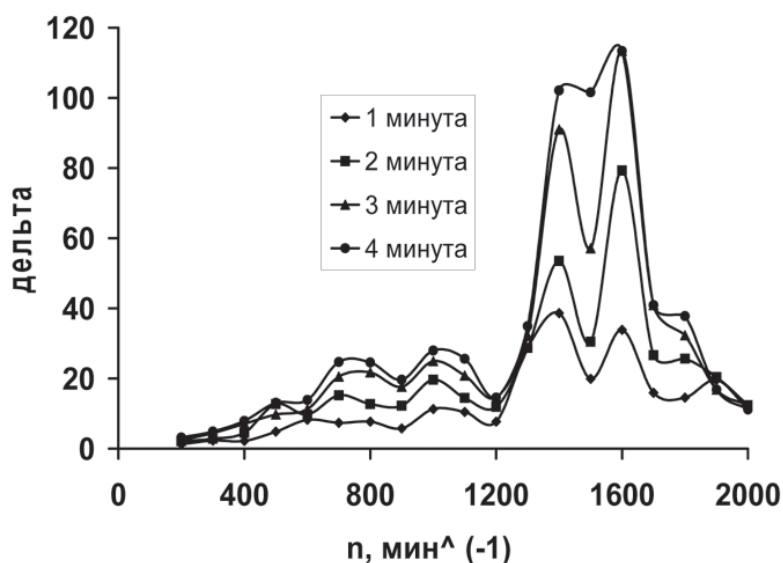


Рис. 7. Зависимость параметра Δ от частоты вращения дисков гетероадагулятора (эмульсия $20500 + 9500 \text{ мин}^{-1}$).

отражаются от неё. В этом случае гетероадагуляция прекращается и такая ситуация соответствует образованию горизонтальной полочки ступени, напоминая ту, которая была рассмотрена в работе [18].

Углеродная ткань, смоченная водой, способна, вдруг, очиститься от слоя воды и покрыться слоем солярки (триггерный или анкерный режим). При этом поверхность ткани начнет вновь воспринимать “дождь микрокапель солярки”, что будет соответствовать возникновению новой растущей ступени. В отрезки времени, когда капли не воспринимаются поверхностью, концентрация капель в воде остается неизменной, что графически выражается в виде горизонтальной “полочки” ступени. Анкерный режим обеспечивает ступенчатость кривых с образованием “полочки” при $A_t = const$ после существенного изменения величины A_t . Это изменение оптической прозрачности мы называем “подъёмом” ступени. Как правило, этот “подъём” должен в три раза превосходить ошибку эксперимента, т.е. быть больше текущей величины на 6-8 %. Четкие ступени хорошо продемонстрированы в работе [1] и в данной статье (рис. 4, 5).

В тот период, когда поверхность свободна от слоя солярки, активные центры с капельными кластерами максимально сосредотачивают на себе “наросты” более свободных, чем в кластерах, капель солярки. Эти “наросты”, состоящие из множества капель солярки, время от времени отрываются турбулентными пульсациями. Оторвавшиеся “наросты” способны благополучно “добраться” до спокойных зон сверху (или внизу) аппарата. Если же “нарост” не успеет это сделать, то его ожидает встреча с пульсацией, масштаб

Ключевые слова:

микрокапли,
гетероадагуляция,
кинетика,
гистограммы,
микрокапли,
микрофотоснимки,
углеродная ткань,
солярка,
ступени и осцилляции,
хлорбензол,
освещение,
вейвлеты

которой сопоставим с размером “нароста”, что приведет к дроблению последнего и к началу процесса, который мы называем редиспергированием. Физически это вновь приводит к увеличению мутности и процесс осветления воды требует определённого времени до того момента, когда поверхность волокон ткани опять покроется соляркой. В этом состоянии происходит переключение “триггера или анкера” и поверхность, только что не поглощавшая “дождь” капель солярки, начинает делать это. Возникает и развивается новая “полочка” другой ступени.

Для описания этого ступенчатый процесса, существует математический аппарат, он называется вейвлет-функциями [19, 20]. Однако его применение не может дать ответ на вопрос, что запускает и что останавливает развитие ступеней, а также что определяет их высоту. Мы знаем, что только экспериментом может быть определено, какие параметры будут иметь ступени.

Можно предложить вербальную модель образования гармонических функций $\Delta = f(n)$ (рис. 7) и $E = f(n)$ (рис. 6), но трудно верифицировать её. Модель состоит в осаждении капель на поверхность углеродной ткани (нитей) и сбросе капель в местах многочисленных стоков при увеличении скорости вращения дисков. Всё это происходит при наложении гармоник на кинетическую кривую ГГА.

Таким образом, функциональная кривая гетероадагуляции осложняется максимумами и минимумами. Гармоники, природа которых будет рассмотрена далее, скрывают глобальный максимум, который всё же просматривается при частоте вращения дисков, равной 1400-1600 мин⁻¹.



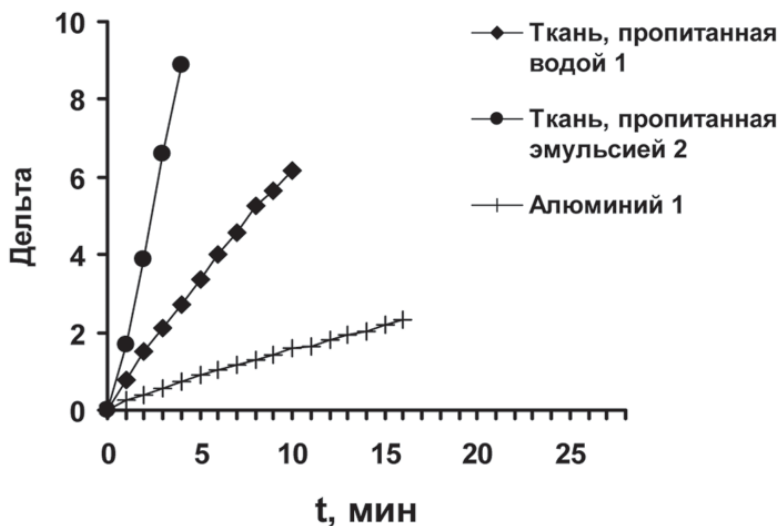


Рис. 8. График зависимости параметра Δ от длительности процесса при интенсивности вращения ротора гетероадагулятора – 1000 мин⁻¹.

Важнейшим является вопрос возникновения гармонических составляющих и наложения их на основную кривую гетероадагуляции. Возрастающая ветвь гармоник $E = f(n)$ и $\Delta = f(n)$ “подвержена” воздействию замедляющейся скорости радиального увеличения “нароста”. Турбулентные пульсации, как уже отмечалось, могут разрушить оторвавшийся “нарост”, образуя “фрагмент” с подавляющей массой и “облако” очень мелких капелек. Именно они и фиксируются спектрофотометром или фотоэлектроколориметром и обуславливают “обратный ход” гармоники. Поскольку частота вращения дисков увеличивается, происходит формирование следующих гармоник на кривых $E = f(n)$ и $\Delta = f(n)$ (рис. 6, 7).

Мы уверены в функциональном характере гармоник прежде всего потому, что следующая гармоника повторяет предыдущую и сходна с последующей. Средне-квадратичное отклонение результатов оказалось в пределах $0,038 > S > 0,075$. Относительная погрешность лежит в диапазоне $3,5\% < \delta < 8,6\%$, что существенно меньше размаха гармоник функции $E = f(n)$, достигающего 30–40%. Но самое главное заключается в очень похожем поведении функций $E = f(n)$ и $\Delta = f(n)$ – столь систематичное поведение функций не может быть приписано случайным процессам.

Влияние типа стенки, на которой происходит гетероадагуляция

Кинетические кривые очистки воды от микроскопических капель особенно удобно представлять в виде функций $\Delta = 1/A_t - 1/A_0 = kat$. Это делается на системе «вода – со-

лярка» при интенсивности вращения дискового гетероадагулятора равной 1000 мин⁻¹. Здесь k – коэффициент скорости гетероадагуляции, a – величина удельной поверхности.

Материалами, используемыми в качестве стенок реактора гетероадагулятора, были углеродная ткань и алюминиевая фольга.

Дельта–функции оказались строго линейными на большей части своей протяженности. Цифры 1 и 2 означают первый или второй по очередности эксперименты, производимые не дольше, чем через один час.

Весьма показательны гистограммы (рис. 9), в которых по оси абсцисс отложены материалы и виды их обработки, а по оси ординат степень очистки воды от микрокапель за 2 мин. Последняя величина является коэффициентом скорости очистки, поскольку для его расчета следует использовать только линейные части наклона кинетических кривых.

Столбцы, идущие слева направо, означают следующие материалы и способы их обработка:

1 – углеродная ткань, пропитанная водой в первом эксперименте; 2 – та же ткань, пропитанная водой во втором эксперименте; 3 – первый эксперимент на той же ткани, но пропитанной эмульсией типа «масло в воде» с содержанием «масла» в 2 раза больше, чем в кинетических опытах; 4 – второй эксперимент на той же ткани, но пропитанной эмульсией с содержанием масла в 2 раза больше, чем в кинетических экспериментах; 5 – первый эксперимент на углеродной ткани, пропитанной соляжкой; 6 – второй эксперимент на углеродной ткани, пропитанной соляжкой; 7 – первый эксперимент на алюминии; 8 – второй эксперимент на алюминии.

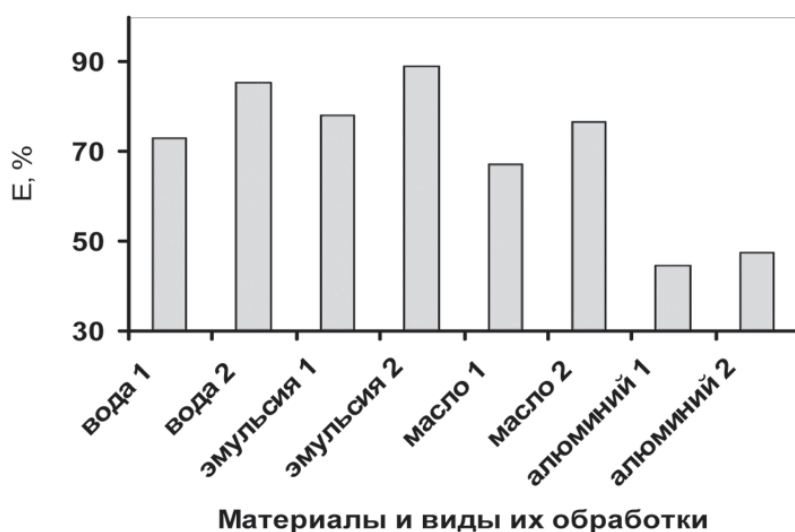


Рис. 9. Влияние типа материала и его пропитки различными жидкостями на степень очистки воды от микрокапель соляжки (длительность процесса 4 мин).



Прежде всего, отмечено влияние типа пропитываемого раствора. Пропитка эмульсией «масло-вода» даёт наилучшие результаты. Наблюдается также ясная картина – повторный эксперимент всегда приводит к большей степени очистки. Исключение не наблюдается, даже если вместо пористой углеродной ткани использовать алюминиевую фольгу. Однако эффект пропитки в этом случае существенно меньше. Видимо, и в случае алюминия происходит постепенное заполнение всех подходящих для адсорбции мест. Этот эксперимент свидетельствует о том, что основную роль в гетероадагуляции играют поверхностные процессы. Это объясняет длительность функционирования ткани и ненужность фильтрации (в отличие от классических фильтрационных патронов) [21]. Чем объяснить тот факт, что после “отдыха” углеродная ткань начинает “работать” более эффективно? Видимо “отдых”, продолжительность которого составляет не менее 1 ч, привел к перестройке положений формирующих (первичных) кластеров в щелях и капиллярах.

Заключение

Для того чтобы понять процессы, которые происходят при гетероадагуляции, были получены и охарактеризованы микрфотоснимки двух типов эмульсий:

1) полученной при частоте вращения ротора диспергатора 13500 мин^{-1} и 2) полученной при частоте 20500 мин^{-1} обработки эмульсии “вода в масле”, с предпринятой попыткой получения множественной эмульсии “вода – масло – вода”. Это попытка, завершившаяся при 9500 мин^{-1} , не привела к успеху. Тем не менее, в результате удалось получить очень

мелкие и однородные микрокапли солярки, на что указывают микрофотографии и расчеты размеров микрокапель солярки ($r_d = 0,4-5,8 \text{ мкм}$).

Кинетические кривые гетероадагуляции, выполненные на углеродной ткани, подтвердили однородность эмульсии (рис. 1 а). Наблюдался непрерывный рост скорости процесса гетероадагуляции, по крайней мере, до интенсивности вращения дисковой мешалки, равной $1400-1500 \text{ мин}^{-1}$.

Среди особенностей кинетики основное место занимал процесс образования ступенчатых кривые ГТА. Были устранены все возможные причины механического плана, но ступенчатые кривые сохранились. Получена 6-ти ступенчатая кривая в системе “солярка – вода”, а в условиях относительной “невесомости” образовывалась трехступенчатая кривая гетероадагуляции в системе “хлорбензол – рассол NaCl”. Периодические процессы наблюдались и при получении Δ -функций гетероадагуляции. Во всех случаях созданы вербальные модели многоступенчатых и квазигармонических процессов гетероадагуляции.

Установлено влияние на кинетику гетероадагуляции природы стенки и способа подготовки стенки, на которой происходят поверхностные процессы.

Литература

1. 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.
2. Лунина М.А. Гетероадагуляция частиц высокодисперсных металлов на поверхности полимерных волокон / М.А. Лунина, М.Г. Иванова, А.А. Хачатурян // Коллоидный журнал, 1995. Т. 57. № 6. С. 825–828.
3. Лунина М.А. Критерии гетероадагуляционной активности частиц высокодисперсных металлов в различных системах / М.А. Лунина, А.А. Хачатурян // Коллоидный журнал, 1997. Т. 59. № 3. С. 407–408.
4. Tamai H. Latex deposition on fibers: effect of electrolyte on rate and interaction energy / Ta-mai H., Suzawa T. // J. Colloid and Int. Sci., 1982. V. 88. № 2. P. 372–377.
5. Tamai H. Latex deposition on fibers / Tamai H., Nagai Y. Suzawa T. // J. Colloid and Int. Sci., 1983. V. 91. № 2. P. 464-468.
6. Golikova E.V. Investigation into the Heterocoagulation of Two-Component Dispersed System Containing Nanosized and Submicron Particles with Different Degrees of Hydrophili-

city / E.V. Golikova, Yu. M. Chernoberezhskii // *Glass Physic and Chemistry*, 2005. V. 31. No. 3. P. 280-290.

7. Dukhin A.S. Gravity as a factor of aggregative stability and coagulation / A.S. Dukhin, S.S. Dukhin, P.J. Goetz // *Advances in Colloid and Interface Science*, 2007. V. 134-135. P. 35-71.

8. SYTEC, Case Study. Crud: How It Forms and Techniques for Controlling It – Metal Extraction. 2006. P. 1-4.

9. Тарасов В.В. Модель гетерогенной гидродинамической коагуляции микрокапель / В.В. Тарасов, Н.Ф. Коваленко, Н.Е. Кручинина, С.А. Шилин // *Журн. прикл. химии*. 2006. Т. 79. № 8. С. 1300–1304.

10. Тарасов В.В. Укрупнение микрокапель “масел” при обтекании эмульсиями твердых поверхностей // *Доклады АН*. 2008. Т. 421. № 5. С. 649-653.

11. Тарасов В.В. Кинетика и механизм миграции по воде экстрагентов и их комплексов / В.В. Тарасов, Н.Ф. Коваленко, Г.С. Щербакова // *Теор. осн. хим. технологии*, 2006, Т. 40. № 3. С. 252-257.

12. Тарасов В.В.. Очистка воды от микрокапель органических жидкостей методом гидродинамической гетероадагуляции // *Вода: химия и экология*, 2008. № 4. С. 6-15.

13. Тарасов В.В. Влияние совместного извлечения и гетероадагуляции на количество капель масла “ХА-30” в воде // *Вода: химия и экология*. 2009. № 1. С. 14-23.

14. Тарасов В.В. Особенности гетероадагуляции микрокапель компрессорного масла и очистка от них воды на углеродной ткани / В.В. Тарасов, Коваленко Н.Ф., Чжан Дунсян // *Химическая технология*. 2010, т. 11, № 1, 48 – 56.

15. Тарасов В.В. Гетероадагуляция для очистки воды от микрокапель три-н-бутилфосфата / В.В. Тарасов, Н.Ф. Коваленко, М.В. Ястребова // *Химическая технология*. 2009. Т. 10. № 5. С. 315-319.

16. Райст П. Аэрозоли. Введение в теорию. М.: Мир. 1987. 278 с.

17. М. Джейкок. Химия поверхностей раздела фаз / М. Джейкок, Дж. Парфит. М.: Изд-во Мир, 1984, 269 с.

18. Чжан Дунсян. Влияние электростатического поля на массообмен щавелевой кислоты и ди-2-этилгексилфосфосфата меди / Чжан Дунсян, В.В. Тарасов // *Ж. физ. химии*. 2008. Т. 82. № 4. С. 594-600.

19. Добеши П. Десять лекций по вейвлетам. ГОРОД: Изд-во РХД. 2001. 464 с.

20. Флетчер К. Численные методы на основе метода Галеркина. М.: Изд-во Мир, 1988. 387 с.

21. Тарасов В.В. Очистка воды от микрокапель жидких пищевых масел в аппаратах с волокнистой насадкой / В.В. Тарасов, А.Ю. Олейник, Н.Ф. Коваленко // *Хим. технология*. 2008. Т. 9. №1. С. 45-48.



N.F. Kovalenko, V.V. Tarasov

KINETICS OF WATER PURIFICATION FROM FUEL MICRODROPS BY HETEROADAGULATION ON CARBON FABRIC

The peculiarities of kinetic of hydrodynamic heteroadagulation (HNA) of diesel oil micro drops with radius 0.4–6 mkm onto carbon fabric have been studied. The drops enlargement leads to acceleration of water purification from micron and submicron oil droplets. HNA process can be accelerated of water

purification in ~ 100 times. However there are many peculiarities which complicate the process of purification. Very important property of HNA kinetics is time lag, form steps and oscillations. It has been proposed a verbal model of heteroadagulation kinetics with steps and oscillations.

Key words: micro drops, heteroadagulation, kinetics, histograms microphotos, carbon fabric, diesel fuel, chlorobensene, purification degree, steps and oscillations, wavelets