

кількість летучих речовин, що виділяються (досл.8). На відміну від дослідів з ПВХ і антраценовою фракцією при введенні ПВХ не відбувається розкладення γ -фракції і спостерігається її незначне зростання. Такі закономірності зберігаються також у присутності ДБФ 10% (досл.9).

Таким чином, перхлорвініл інтенсифікує процеси розкладення β -фракції і сприяє високому приросту α -фракції. Дібутилфталат оказує високу пластифікуючу дію на кам'яновугільний пік, викликаючи інтенсивне зростання γ -фракції за рахунок α - і β -фракцій, які розкладаються. При використанні ПВХ-модифікатору в комбінації з антраценовою фракцією можна отримати кам'яновугільний пік із заданими полімерними властивостями, про що свідчить інтенсивне зростання β -фракції за рахунок високого ступеня розкладення γ -фракції.

Література

1. **Свердлин В.А. и др.** К вопросу строения пеков // Химия твердого топлива, 1972. — № 5. — С. 156–157.
2. **Мельникова Н.С. и др.** Структура каменноугольного пека // Кокс и химия, 1973. — № 12. — С. 34–36.
3. **Питюлин И.Н.** Научно-технологические основы создания каменноугольных углеродсодержащих материалов для крупногабаритных электродов. — Харьков, 2004. — 480 с.

© Крутько І.Г., Каулін В.Ю., 2009

Рецензент д.х.н., профессор ДонНТУ Бутузова Л.Ф.

УДК 532.6:541.183 + 547.992.1

Ковтун А.И. (ДонНУЭТ им. М.Туган-Барановского), **Хилько С.Л., Рыбаченко В.И.** (ИнФОРУ НАНУ)

АДСОРБЦИОННОЕ ПОВЕДЕНИЕ И РЕОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ГУМАТА НАТРИЯ НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА ЖИДКОСТЬ-ГАЗ

Изучены адсорбционные свойства растворов гумата натрия методом кольца Дю Нуи (равновесное и динамическое поверхностное натяжение) и реологические характеристики поверхностных слоев гумата натрия методом дилатационной реометрии (модуль вязкоупругости и фазовый угол). Экспериментальные данные были проанализированы на основе уравнений состояния, изотермы адсорбции и функции распределения по состояниям адсорбированных молекул полиэлектролита с различной молярной поверхностью. Показано, что кинетика адсорбции гумата натрия описывается барьерным механизмом. Зависимости модуля вязкоупругости поверхностных слоев гумата натрия от концентрации ПАВ в растворе проходят через максимум.

Гуминовые кислоты (ГК) относятся к классу высокомолекулярных ароматических полиоксиполикарбоновых кислот. В состав молекул ГК входят конденсированные ароматические ядра, гетероциклы и различные функциональные группы (карбоксильные, гидроксильные, аминогруппы и др.) [1]. За счет сочетания выраженных гидрофобных и гидрофильных участков в молекулах, соли гуминовых кислот (гуматы) способны проявлять свойства

анионных поверхностно-активных веществ (ПАВ). Гуматы щелочных металлов (Na, K) хорошо адсорбируются на различных поверхностях раздела фаз: Т–Ж (вода–уголь, вода–глина), Ж–Ж (масло–вода). Это обуславливает возможность их применения в качестве химических добавок в различных дисперсных системах. Такие соединения могут быть использованы, например, в качестве стабилизаторов буровых растворов, пластификаторов водоугольных суспензий и керамических композиций, эмульгаторов и стабилизаторов при получении топливных эмульсий и др. [2–4]. Многофункциональность действия солей гуминовых кислот в качестве ПАВ позволяет расширить область их применения для использования в других системах, где традиционно используются синтетические, обычно дорогостоящие ПАВ [5].

Соли гуминовых кислот характеризуются невысокой поверхностной активностью на границе раздела жидкость–газ [6]. Детальных исследований механизма адсорбции гуматов на этой границе раздела и влияния на этот процесс различных факторов в литературе нет. Целью данной работы было изучение динамики снижения поверхностного натяжения водных растворов гуматов натрия на границе раздела жидкость–газ и реологических свойств их поверхностных слоев.

Экспериментальная часть

В работе использовали образцы гуматов натрия, экстрагированные из одной пробы бурого угля Александрийского месторождения (Украина). Na-соли гуминовых кислот (ПАВ) получали, согласно [7]. Молекулярный вес гуматов натрия составляет примерно 20000. pH Растворов гуматов натрия составлял 10,4. Растворы готовили на бидистиллированной воде.

Динамику снижения поверхностного натяжения водных растворов (σ , мН/м) измеряли на тензиометре Lauda PVS 1 методом кольца Дю Нуи при температуре $(20 \pm 0,1)^\circ\text{C}$. Значения поверхностного натяжения были рассчитаны с учетом поправочных коэффициентов по Гаркинсу-Джордану. Ошибка при измерении поверхностного натяжения одной серии опытов не превышала $\pm 0,1$ мН/м. Время измерения 120–10000 с.

Реологические характеристики поверхностных слоев гуматов натрия изучали методом дилатационной реометрии. Метод основан на использовании капельного тензиометра PAT-2P, SINTERFACE Technologies, Germany. Капля заданного объема формируется на конце капилляра. После достижения адсорбционного равновесия поверхность капли подвергается периодической синусоидальной деформации (осцилляции) малой амплитуды $\Delta A/A = \pm 7\text{--}8\%$, с частотами в диапазоне $f = 0,005\text{--}0,2$ Гц. Результаты экспериментов гармонических осцилляций поверхности капли были проанализированы с использованием Фурье-преобразования по уравнению:

$$E(i\omega) = A_0 \frac{F[\Delta\sigma]}{F[\Delta A]},$$

где A_0 — начальная площадь поверхности капли.

Результаты и их обсуждение

Известно [8], что в зависимости от степени диссоциации функциональных групп в молекулах гуминовых кислот (прежде всего, -COOH) и соотношения сил внутри- и межмолекулярных взаимодействий макромолекулы гуминовых кислот могут принимать различные конформационные состояния от жесткого клубка до

до гибкой линейной цепи. Согласно литературным данным [9], молекулярный вес гуминовых кислот в зависимости от способа их получения находится в диапазоне от 20000 до 70000 ед. Можно было предположить, что тензиометрические характеристики водных растворов солей гуминовых кислот и реологические свойства их поверхностных слоев должны быть близки к поверхностно-активным свойствам известных природных полиэлектролитов белковой природы.

Для описания равновесного поверхностного натяжения и адсорбции ПАВ, которые могут существовать в n -состояниях с различной молярной поверхностью (в частности белков), используют теоретические модели [10, 11].

Адсорбционное поведение белков на границе раздела жидкость–газ существенно отличается от такового для низкомолекулярных ПАВ. В отличие от низкомолекулярных ПАВ, молярная поверхность полиэлектролитов велика и может варьироваться с изменением поверхностного давления (Π , мН/м).

Можно предположить, что молекула гумата натрия, аналогично белкам, должна существовать в поверхностном слое в произвольном числе состояний с различной молярной поверхностью, изменяющейся от максимального значения ω_{\max} при очень низкой степени заполнения поверхности молекулами ПАВ до минимального значения ω_{\min} при высокой степени заполнения поверхностного слоя. При этом молекулы полиэлектrolита в различных состояниях находятся в равновесии друг с другом. Молярная поверхность растворителя ω_0 намного меньше, чем молярная поверхность адсорбированного полимера.

Уравнение состояния поверхностного слоя [10,11]:

$$-\frac{\Pi\omega_0}{RT} = \ln(1-\theta_p) + \theta_p(1-\omega_0/\omega) + a_p\theta_p^2 \quad (1)$$

где Π — поверхностное давление; R — универсальная газовая постоянная; T — температура; a_p — параметр межмолекулярного взаимодействия.

Величина адсорбции молекул полиэлектrolитов во всех n состояниях определяется соотношением (2), а общая степень заполнения поверхности раздела молекулами полиэлектrolита — соотношением (3):

$$\Gamma = \sum_{i=1}^n \Gamma_i \quad (2)$$

$$\theta_p = \omega\Gamma = \sum_{i=1}^n \omega_i\Gamma_i, \quad (3)$$

где ω — средняя молярная поверхность полиэлектrolита, определяемая как:

$$\omega = \frac{\omega_1\Gamma_1 + \omega_2\Gamma_2 + \dots}{\Gamma_1 + \Gamma_2 + \dots}, \quad (4)$$

где $\omega_i = \omega_1 + (i-1)\omega_0$, ($1 \leq i \leq n$) — молярная поверхность полиэлектrolита в i -ом состоянии, принимая инкремент молярной поверхности при переходе от одного состояния к соседнему ω_0 . $\omega_1 = \omega_{\min}$, $\omega_{\max} = \omega_1 + (n-1)\omega_0$.

Уравнение изотермы адсорбции для каждого j -го состояния молекулы полиэлектrolита в поверхностном слое [10, 11]:

$$b_p c_p = \frac{\omega \Gamma_j}{(1 - \theta_p)^{\omega_j / \omega}} \exp[-2a_p \frac{\omega_j}{\omega} \theta_p], \quad (5)$$

где c_p — концентрация полиэлектролита в объеме раствора, $b_p = b_{pj}$ — константа адсорбционного равновесия полиэлектролита в j -ом состоянии.

В теоретической модели адсорбции полиэлектролитов предполагается [10, 11], что константы равновесия b_{pj} для всех j состояний от $i = 1$ до $i = n$ имеют одно и то же значение, и поэтому константа адсорбционного равновесия для молекулы полиэлектролита в целом равна $b = \sum b_{pj} = n b_{pj}$.

Функция распределения для значений адсорбции полиэлектролита в различных состояниях определяется соотношением [10, 11]:

$$\Gamma_j = \Gamma \frac{(1 - \theta_p)^{(\omega_j - \omega_1) / \omega} \exp[2a_p \theta_p \frac{\omega_j - \omega_1}{\omega}]}{\sum_{i=1}^n (1 - \theta_p)^{(\omega_i - \omega_1) / \omega} \exp[2a_p \theta_p \frac{\omega_i - \omega_1}{\omega}]} \quad (6)$$

Для описания адсорбционного поведения полимеров предложенная модель использует следующие параметры: ω_{\max} , ω_{\min} , ω_0 , a_p , b . Параметры ω_{\max} , ω_{\min} определяются по результатам измерений толщины адсорбционного слоя. По экспериментальным зависимостям поверхностного натяжения от концентрации находятся (по специальной расчетной программе) параметры ω_0 , a_p , b . Поскольку для гумата натрия нет независимых экспериментов по определению молярной поверхности молекулы, то значения ω_{\max} , ω_{\min} взяли примерно такие же, как для белков, которые имеют примерно такую же массу (β -лактоглобулин, $M = 18400$, β -казеин, $M = 24000$) [12].

На рис. 1 приведена экспериментальная зависимость равновесного поверхностного давления от концентрации гумата натрия. Теоретическая кривая рассчитывалась по уравнениям (1) и (5) при следующих значениях параметров: $\omega_{\max} = 2,14 \cdot 10^7$ моль/м², $\omega_{\min} = 4,43 \cdot 10^6$ моль/м², $\omega_0 = 2,15 \cdot 10^5$ моль/м², $a_p = 0$, $b = 7,4 \cdot 10^{-1}$ м³/моль. Как следует из этого рисунка, имеется отчетливое соответствие между

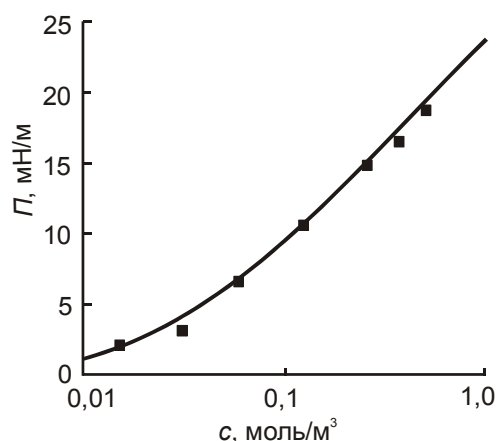


Рис. 1. Зависимость равновесного поверхностного давления от концентрации гумата натрия. (■) — экспериментальные данные, (—) — теоретическая кривая

ответливое соответствие между экспериментальными данными и рассчитанной зависимостью $\Pi = f(c)$, характерной для мономолекулярной адсорбции ПАВ на границе раздела фаз. Величина поверхностного давления адсорбированных молекул является избыточным давлением слоя ПАВ на межфазной границе и определяется как разность поверхностного натяжения растворителя (σ_0) и раствора ПАВ: $\Pi = \sigma_0 - \sigma$. Увеличение величины Π с ростом концентрации ПАВ в растворе обусловлено нарастанием избыточного давления при формировании все более насыщенного адсорбционного слоя ПАВ на границе раздела фаз.

При том же наборе параметров модели, что и для зависимости $\Pi = f(c)$ (уравнения 1–6) можно рассчитать величины адсорбции (Γ , мг/м²). На рис. 2

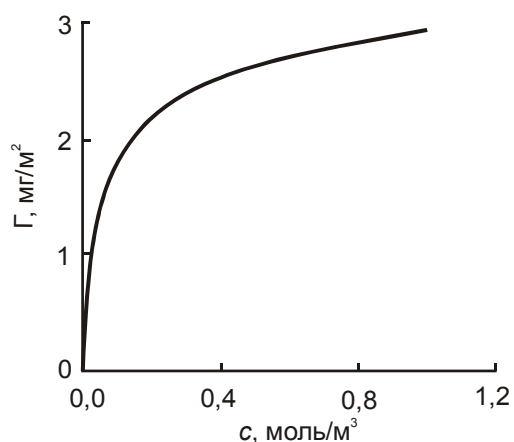


Рис. 2. Теоретически рассчитанная зависимость адсорбции от концентрации гумата натрия

приведена теоретически рассчитанная зависимость величины адсорбции от концентрации гумата натрия, вид которой также характерен для мономолекулярной адсорбции ПАВ. Данная зависимость имеет вид кривой с насыщением.

На рис. 3 представлена зависимость средней молярной поверхности гумата натрия от приведенной концентрации, рассчитанная по уравнению (4). Из этого рисунка следует, что для гумата натрия переход от разбавленного к почти насыщенному адсорбционному слою сопровождается уменьшением молярной поверхности ω .

Согласно литературным данным [10, 11], такое поведение характерно для полиэлектролитов белковой природы, что связано с переориентацией и переконформацией их молекул при формировании поверхностного слоя.

Уравнения состояния поверхностного слоя и изотермы адсорбции ПАВ являются базовыми для анализа кинетики адсорбции и динамического поверхностного натяжения в квазиравновесных условиях. Уордом и Тордеем предложено наиболее общее соотношение между динамической адсорбцией $\Gamma(t)$ и приповерхностной концентрацией $c(0,t)$ ПАВ для свежееобразованной недеформируемой поверхности. Уравнение Уорда-Тордея имеет вид [10, 12–14]:

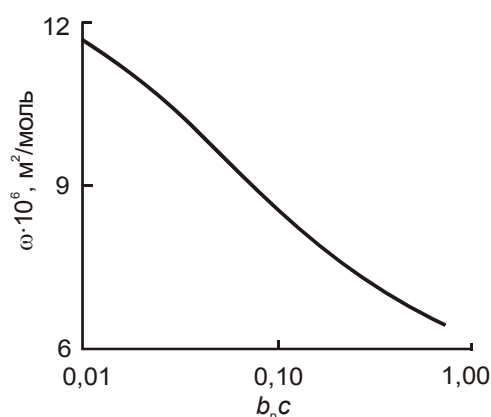


Рис. 3. Зависимость средней молярной поверхности молекулы гумата натрия с учетом всех ее состояний в адсорбционном слое от приведенной концентрации $b_{p}c$

$$\Gamma(t) = 2\sqrt{\frac{D}{\pi}} \left[c_0\sqrt{t} - \int_0^{\sqrt{t}} c(0,t-t')d(\sqrt{t'}) \right], \quad (7)$$

где c_0 — концентрация полиэлектролита в объеме, D — коэффициент диффузии, t — время, t' — переменная интегрирования.

Путем совместного решения уравнения (7) с уравнениями (5) или (6), которые служат для (7) граничными условиями при диффузионном механизме адсорбции, может быть найдена зависимость $\Gamma(t)$ от времени жизни поверхности. На рис. 4 приведены результаты измерения динамического поверхностного натяжения растворов гумата натрия. Теоретическая кривая рассчитана по уравнениям (1)–(6) и (7) при значении коэффициента диффузии $1 \cdot 10^{-16}$ м²/с. Для того чтобы добиться максимального соответствия между экспериментальными и расчетными данными, необходимо было использовать значения коэффициентов диффузии значительно ниже тех, которые могли бы быть свойственны молекулам такого размера (величина D порядка 10^{-11}) [13, 14]. Теоретические кривые $\Gamma(t)$ от времени жизни поверхности для растворов

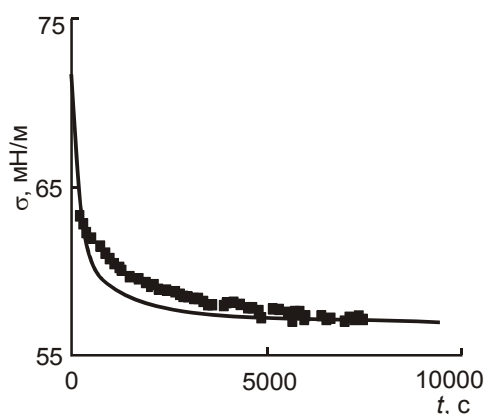


Рис. 4. Динамическое поверхностное натяжение растворов гумата натрия при концентрации 0,76% — (■) и теоретическая кривая — (—)

моль/м³. Недиффузионный механизм адсорбции ПАВ объясняют существованием вблизи границы раздела фаз энергетического адсорбционного барьера, который включает в себя электростатические и неэлектростатические взаимодействия между молекулами ПАВ. Поверхностный барьер определяет замедление перехода молекул ПАВ из приповерхностного слоя в поверхностный.

Следует отметить, что уменьшение коэффициента диффузии от 10^{-15} до 10^{-16} м²/с при увеличении концентрации гумата натрия в растворе от 0,06 до 1 % связано с тем, что при низких концентрациях ПАВ процесс адсорбции определяется диффузией ПАВ из приповерхностного в поверхностный слой, а при более высоких концентрациях гумата натрия — релаксационными процессами в поверхностном слое.

Важную информацию о свойствах поверхностных слоев ПАВ можно получать при наблюдении за переходными режимами деформирования этих слоев, когда происходят периодические отклонения от равновесия. Адсорбционные слои ПАВ, которые формируются на границе раздела фаз, характеризуются определенными механическими свойствами, наиболее значимыми из которых являются упругость, вязкость и прочность. Эти свойства обусловлены способностью молекул ПАВ взаимодействовать друг с другом в поверхностном слое и образовывать структурированные адсорбционные слои.

Периодические режимы деформирования осуществляются по закону гармонических колебаний [17]:

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_0 e^{i\omega t}, \quad (8)$$

где ε — амплитудное значение деформации; i — мнимая единица; ω — круговая (циклическая) частота, $\omega = 2\pi f$, f — обычная частота (число колебаний в единицу времени).

При таком режиме изменение деформации (колеблющаяся величина) меняется со временем по закону косинуса или синуса в зависимости от того, исследуется ли действительная или мнимая компонента деформации.

Дилатационный модуль упругости поверхностных адсорбционных слоев ПАВ определяется как отношение изменения поверхностного натяжения раствора (σ) к относительно небольшому увеличению площади поверхности капли (A) при ее деформировании [10, 12]:

$$E = \frac{d\sigma}{d \ln A}, \quad (10)$$

Модуль E в модели Максвелла выражают комплексным числом, который включает в себя реальную (упругость) и мнимую (вязкость) компоненты:

$$E = E_r + iE_i, \quad (11)$$

где реальная часть E_r — это модуль упругости («накопления»), равный дилатационной упругости; E_i — это мнимая часть или модуль потерь, являющийся произведением дилатационной вязкости (η_d) и круговой частоты (ω).

Дилатационный модуль E характеризует вязкоупругие свойства поверхностных слоев ПАВ. Величина E складывается из упругой части, которая отражает накопление энергии в поверхностном слое, и вязкостной составляющей, отражающей потери энергии в релаксационных процессах.

Выражение для модуля вязкоупругости имеет вид:

$$|E| = \sqrt{E_i^2 + E_r^2} \quad (12)$$

На рис. 5 показаны зависимости изменения модуля вязкоупругости поверхностных слоев гумата натрия от концентрации ПАВ в растворе при выбранных двух частотах. Как видно, эти зависимости имеют выраженный максимум при концентрации $c_{\text{ПАВ}} \approx 0,2\%$. Это свидетельствует о том, что наиболее прочные поверхностные слои гумат натрия способен образовывать только в области определенных концентраций ПАВ в растворе, когда поверхностный слой приближается к насыщению.

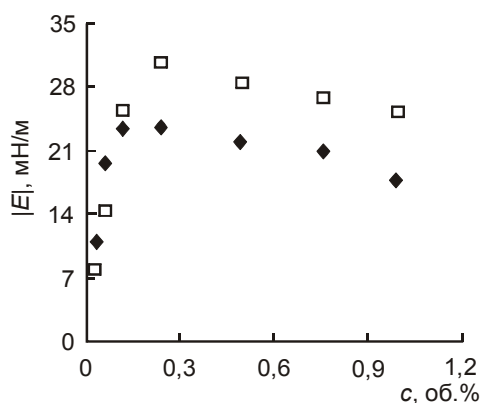


Рис. 5. Изменение модуля вязкоупругости (E) от концентрации гумата натрия в водном растворе при частотах (f): (♦) — 0,01 Гц; (□) — 0,05 Гц

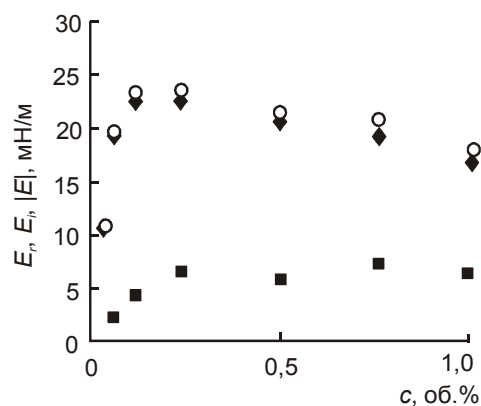


Рис. 6. Зависимость модулей вязкоупругости $|E|$ (○), упругости E_r (♦) и вязкости E_i (■) от концентрации гумата натрия при частоте 0,01 Гц

Такое поведение модуля вязкоупругости в значительной степени является следствием того, что молекулы полиэлектролита в поверхностном слое изменяют свою молярную поверхность по мере увеличения величины адсорбции. Вероятность нахождения молекулы полиэлектролита в состояниях с максимальной молярной поверхностью уменьшается с увеличением степени заполнения монослоя. Результаты измерения реологических характеристик адсорбционных слоев гумата натрия показали, что вязкостная (мнимая) часть модуля вязкоупругости намного ниже, чем его упругая (реальная) составляющая (рис. 6).

Поэтому мономолекулярные слои, образованные гуматом натрия, следует относить к упругим поверхностным пленкам.

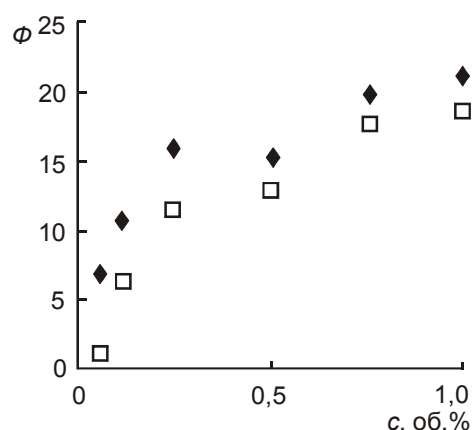


Рис. 7. Изменение величины фазового угла (Φ) от концентрации гумата натрия в водном растворе при частотах (f): (\blacklozenge) — 0,01 Гц; (\square) — 0,05 Гц

На рис. 7 приведены зависимости изменения фазового угла поверхностных слоев гумата натрия от его концентрации в растворе при двух частотах. Фазовый угол определяет задержку процессов адсорбции-десорбции ПАВ на поверхности капли при ее гармонических колебаниях. По определению фазовый угол (угол запаздывания) равен $\Phi = \arctg(E_i/E_r)$ [17]. Увеличение фазового угла с ростом концентрации гумата натрия в растворе может свидетельствовать о постепенном нарастании упругости поверхностных слоев гумата натрия, обусловленного сдвигом процессов адсорбции-десорбции ПАВ в сторону адсорбции и замедления процесса десорбции ПАВ при наложении

деформации «растяжение-сжатие».

Выводы

1. Для описания равновесного поверхностного натяжения водных растворов гумата натрия применили уравнение состояния поверхностного слоя, изотермы адсорбции и функции распределения адсорбированных молекул полиэлектролита по состояниям, отличающихся величиной молярной поверхности. Показано, что теоретическая модель адсорбции полиэлектролитов хорошо описывает полученные экспериментальные данные.

2. Проанализирована кинетика адсорбции гумата натрия на границе раздела жидкость-газ на основе диффузионной модели, которая включает уравнение Уорда-Тордея и систему уравнений, описывающих равновесное адсорбционное поведение полиэлектролитов. Показано, что для гумата натрия характерен недиффузионный (барьерный) механизм адсорбции.

3. Изучены реологические характеристики адсорбционных слоев гумата натрия. Показано, что зависимость изменения модуля вязкоупругости от концентрации гумата натрия проходит через максимум. Дилатационный модуль определяется упругой составляющей.

Литература

1. Орлов Д.С. Гуминовые вещества в биосфере // Соросовский образовательный журнал, 1997. — № 2. — С. 56–63.
2. Хилько С.Л., Титов Е.В. Реологические свойства высокодисперсных высококонцентрированных водоугольных суспензий // Коллоид. журн., 1993. — Т. 55. — № 6. — С. 117–123.
3. Хилько С.Л., Титов Е.В. Получение и реологические свойства эмульсионных топливных композиций на основе гудронов // Журн. приклад. химии, 2000. — Т. 73. — № 8. — С. 1383–1386.
4. Хилько С.Л., Титов Е.В. Способ получения и реологические характеристики суспензионного топлива на основе бурого угля // Химия твердого топлива, 2001. — № 1. — С. 78–87.
5. Ломовский О.И. Применение гуматов и их получение из бурого угля механохимическим методом // Обработка дисперсных материалов и сред. — Одесса: НПО ВОТУМ, 1999. - Вып. № 9. — С. 116–129.
6. Хилько С.Л., Титов Е.В. Физико-химические свойства солей гуминовых кислот // Химия твердого топлива, 2006. — № 3. — С. 12–23.

7. Хилько С.Л., Титов Е.В., Федосеева А.А. Влияние сильных электролитов на водные растворы Na-солей нативных и сульфированных гуматов натрия // Коллоид. журн., 2001. — Т. 63. — № 5. — С. 706–710.
8. Жоробекова Ш.Ж., Мальцева Г.М. О конформационной изменчивости гуминовых кислот. // Химия твердого топлива, 1987. — № 3. — С. 34–37.
9. Ребачук М.Н., Степаненко Л.С., Максимов О.Б. О молекулярных весах гуминовых кислот // Химия твердого топлива, 1972. — № 2. — С. 10–17.
10. Файнерман В.Б., Миллер Р. Равновесные и динамические характеристики адсорбционных слоев белков на межфазных границах жидкость-газ: теория и эксперимент // Коллоид. журн., 2005. — Т. 67. — № 4. — С. 437–449.
11. Fainerman V.B., Lucassen-Reynders E.H., Miller R. Description of the adsorption behaviour of proteins at water/ fluid interfaces in the framework of a two-dimensional solution model // Advances in Colloid and Interface Science, 2003. — V. 106. — P. 237–259.
12. Miller R., Fainerman V.B., Makievski A.V., Krägel J., Grigoriev D.O., Kazakov V.N., Sinyachenko O.V. Dynamics of protein and mixed protein / surfactant adsorption layers at the water/fluid interface // Advances in Colloid and Interface Science, 2000. — V. 86. — P. 39–82.
13. Miller R., Fainerman V.B., Aksenenko E.V., Leser M.E., Michel M. Dynamic surface tension and adsorption kinetics of β -casein at the solution/air interface // Langmuir, 2004. — V. 20. — P. 771–777.
14. Miller R., Aksenenko E.V., Fainerman V.B., Pison U. Kinetics of adsorption of globular proteins at liquid/fluid interfaces // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 2001. — V. 183-185. — P. 381–390.
15. Файнерман В.Б. Кинетика формирования адсорбционных слоев на границе раздела раствор–воздух // Успехи химии, 1985. — Т.54. — № 10. — С. 1613–1631.
16. Файнерман В.Б. К природе адсорбционного барьера на границе раздела вода–воздух // Журн. физ. Химии, 1990. — Т. 64. — № 6. — С. 1611–1617.
17. Виноградов Г.В., Малкин А.Я. Реология полимеров. — М.: Химия, 1977. — 440 с.

© Ковтун А.И., Хилько С.Л., Рыбаченко В.И., 2009

Рецензенты д.х.н., профессор ИнФОРУ НАНУ Файнерман В.Б.,
д.х.н., профессор ДонНТУ Высоцкий Ю.Б.

УДК 662.741

Третьяков П.В., Парфенюк А.С., Алексеева О.Е. (ДонНТУ), Власов Г.А., Кауфман С.И. (ОАО «Авдеевский коксохимический завод»)

ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ РАЗВИТИЯ ТРЕЩИН В ПРОСТЕНКАХ КОКСОВЫХ ПЕЧЕЙ — ВАЖНЫЙ ФАКТОР ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА КОКСОХИМИЧЕСКОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Рассмотрена методика корректирования периодичности проведения ремонтно-восстановительных работ огнеупорной кладки обогревательных простенок коксовых печей с целью снижения скорости развития дефектов, предотвращения появления сквозных дефектов и выброса сырого коксового газа в атмосферу при производстве кокса.

Коксохимические заводы Украины создают большую техногенную нагрузку на состояние окружающей среды. Эта проблема особенно острая для густонаселенного Донбасса и Приднепровье из-за высокой концентрации заводов не только вблизи, но и в черте крупных городов: Донецка, Авдеевки, Макеевки, Мариуполя, Алчевска, Днепропетровска, Кривого Рога, Запорожья и др. Основным источником вредных газопылевых выбросов на коксохимических предприятиях являются батареи коксовых печей. Коксохимия Украины включает 14 предприятий, имеющих в своем составе около 60 действующих