

АВТОМАТИКА ТА ІНФОРМАЦІЙНО- ВИМІРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА

УДК 535.361

В. Г. Петрук, д. т. н., проф.;

І. В. Васильківський;

П. М. Турчик, студ.

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ЗА ПРОЦЕСОМ ВІДСТОЮВАННЯ ДИСПЕРСНИХ СЕРЕДОВИЩ

Процес відстоювання дисперсних середовищ має велике значення для багатьох технологічних процесів харчової, хімічної, переробної промисловості, а також для очищення стічних вод. Одним із найважливіших параметрів, за яким оцінюється якість очистки, є мутність (або обернена їй величина — оптична прозорість) напівпродуктів [1].

Дисперсні системи є найтиповішими і разом з тим складними об'єктами контролю оскільки в них виявляється весь багатовид поверхневих явищ, які формують особливі об'ємні властивості цих систем. Саме такими системами є більшість реальних тіл, тобто рослинний і тваринний світ, ґрунт Землі, хмари і тумани, будівельні матеріали, метали, полімери, папір, тканини, шкіра, продукти харчування тощо.

Дисперсні системи можна класифікувати за різними ознаками: за дисперсністю, за агрегатним станом дисперсної фази і дисперсійного середовища, за характером взаємодії дисперсної фази та дисперсійного середовища, за взаємодією між частинками дисперсної фази, за вільною поверхневою енергією та ін. Разом з тим дисперсним системам властиві дві загальні ознаки: гетерогенність та дисперсність.

Гетерогенність, або багатофазність, вказує на наявність міжфазної поверхні, поверхневого шару (основного об'єкта дослідження) і є якісною характеристикою систем. Дисперсність же є суто кількісним параметром, що вказує на ступінь подрібненості, розмір міжфазної поверхні.

Таким чином, особливості поведінки дисперсних систем пов'язані з їх гетерогенністю та дисперсністю.

Відповідно до теорії ДЛФО сталість дисперсної системи визначається балансом сил притягання і відштовхування, що виникають між частинками, які перебувають у тепловому броунівському русі, з їх зближенням.

Для слабозаряджених поверхонь і малих відстаней h ($h \leq 50$ нм) сумарна енергія взаємодії між двома частинками радіусом r розраховується за рівнянням

$$U_{\text{сум}} = U_e + U_m = 2\pi\epsilon\epsilon_0 r\phi^2 \ln[1 + \exp(-\chi h)] - \frac{Ar}{12h},$$

де U_e — енергія електростатичного відштовхування частинок; U_m — енергія їх молекулярного притягання; ϵ — діелектрична проникність дисперсійного середовища; ϵ_0 — електрична стала; ϕ — електричний потенціал дифузного шару; χ — величина, обернена до товщини дифузійного шару; A — константа Гамакера.

В разі великих потенціалів і відстаней між частинками ($h > 50$ нм)

$$U_{\text{сум}} = U_e + U_m = \frac{64C_0RT}{\chi} V^2 \exp(-\chi h) - \frac{Ar}{12h},$$

де C_0 — концентрація протиіонів у дисперсійному середовищі; V — стала, що визначається величиною ϕ . Потенціальні криві у координатах енергія взаємодії — відстань між частинками $U = f(h)$ дають можливість судити про переважання тих чи інших сил у міру зближення частинок. На ма-

лих відстанях ($h = 1,0$ нм) має перевагу притягання, і на кривих $U = f(h)$ утворюється перший мінімум (перша потенціальна яма). Глибина першого мінімуму може досягати 20...25 кТ. На середніх відстанях ($h = 1,0...10,0$ нм) має перевагу відштовхування, і на потенціальній кривій виникає максимум — потенціальний бар'єр відштовхування. Висота бар'єра змінюється від 0 до 100 кТ. На великих відстанях ($h = 10,0...100,0$ нм) знов має перевагу притягання, і на кривій $U = f(h)$ з'являється другий мінімум (друга потенціальна яма), глибина якого невелика і змінюється від 0 до 10 кТ.

Таким чином, висота потенціального бар'єру і глибина ям визначають можливість агрегації частинок з їх зближенням. Зокрема, фіксація частинок у другому мінімумі призводить до утворення коагуляційних структур. Вони легко руйнуються з підвищенням температури або від механічної дії.

Згідно з молекулярно-кінетичною теорією рухомі частинки дисперсних систем розміром 10^{-6} м і менше мають середню кінетичну енергію яка становить $3/2$ кТ, оскільки $mv^2/2 = 3/2$ кТ. Виходячи із припущення, що рух часток є хаотичним можна згідно статистичної теорії броунівського руху, створеної Ейнштейном і Смолуховським визначити характеристики їхнього руху. Частинки одержують численні імпульси з боку молекул середовища, що швидко рухаються, і здійснюють складний шлях, багаторазово змінюючи напрям свого руху. Броунівський рух часток характеризується середнім зсувом $\bar{\Delta}$ (видимим переміщенням дисперсної частинки у дисперсійному середовищі за час τ), який визначається за рівнянням Ейнштейна-Смолуховського, що пов'язує вказану величину з

параметрами дисперсійного середовища і розмірами рухомих частинок, $\bar{\Delta} = \left(\frac{RT\tau}{N_A 3\pi r \eta} \right)^{1/2}$, м.

де R — газова стала; T — температура; τ — час, с; N_A — стала Авогадро; r — радіус частинки, м; η — в'язкість середовища, Па·с. За рахунок броунівського руху часток відбувається процес дифузії, тобто самодовільний процес вирівнювання концентрацій по всьому об'єму — розчину, швидкість якого характеризується коефіцієнтом дифузії D , який, за Ейнштейном, дорівнює, $D = RT/N_A 6\pi r \eta$, м²/с.

Таким чином, чим більший радіус частинок, тим менший коефіцієнт дифузії, який прямо пропорційний температурі: із зростанням температури збільшується інтенсивність броунівського руху та дифузії.

Коефіцієнт дифузії і середній зсув пов'язані між собою співвідношенням $\bar{\Delta}^2 = 2D\tau$, де τ — час спостереження.

Ці рівняння мають практичне значення: за експериментальними значеннями D легко розрахувати середній радіус сферичних частинок або міцелярну масу речовини:

$$M = 4/3\pi r^3 \rho N_A,$$

де ρ — густина речовини.

Осмотичний тиск дисперсних систем можна визначити, використовуючи рівняння Вант-Гоффа $\pi = (C/M) RT$ або $\pi = vRT$, оскільки $v = C/M$, де π — осмотичний тиск системи; C — концентрація розчину; M — молярна маса речовини; R — газова стала; T — температура; v — концентрація частинок у системі.

Осмотичний тиск дисперсних систем значно менший, ніж осмотичний тиск істинних розчинів. Причиною цього є велика маса колоїдних частинок: при однаковій масовій концентрації концентрація частинок дисперсної системи завжди менша, ніж істинного розчину. Для двох систем, які мають однакову концентрацію і густину, але різні радіуси частинок, існує таке співвідношення (частинки вважаються сферичними за формою)

$$\pi_1/\pi_2 = v_1/v_2 = r_2^3/r_1^3,$$

де π_1 і π_2 — осмотичний тиск відповідно у першій і другій системі; r_1 і r_2 — радіус частинок відповідно першої і другої системи.

Другою особливістю осмотичного тиску дисперсних систем є його несталість, що пояснюється агрегацією, яка відбувається у золях.

Частинки дисперсної фази, перебуваючи у гравітаційному полі, зазнають дії сили земного тяжіння. З іншого боку, суспендовані частинки піддаються дифузії, що намагається вирівняти концентрацію по всьому об'єму системи. При рівності дифузійного і седиментаційного потоків у системі вста-

новлюється дифузійно-седиментаційна рівновага, яка характеризує термодинамічну седиментаційну стійкість таких систем. Розподіл частинок по висоті монодисперсної системи з встановленою рівновагою описується гіпсометричним рівнянням

$$\ln(v_h/v_0) = -(Vg(\rho - \rho_0)h)/\kappa T,$$

де v_h — концентрація частинок на висоті h , м; v_0 — концентрація частинок на висоті $h = 0$, м³; V — об'єм частинки, м³; g — прискорення вільного падіння, $g = 9,8$ м/с²; ρ і ρ_0 — густина дисперсної фази і дисперсійного середовища, кг/м³.

Мірою термодинамічної сталості до седиментації (осідання) є висота h , на якій концентрація дисперсної фази змінюється в e разів:

$$h_e = \kappa T / (Vg(\rho - \rho_0))$$

або для сферичних частинок

$$h_e = 3\kappa T / (4\pi r^3 g(\rho - \rho_0)).$$

Чим більша висота h , тим сталішою є система до седиментації. Сталість підвищується із зростанням температури, зменшенням розміру частинок і різниці густин дисперсної фази та дисперсійного середовища.

У мікрогетерогенних системах (суспензіях, емульсіях, аерозолях), частинки яких через велику масу не можуть брати участь у броунівському русі, виникає седиментація (осадження або зворотний процес) — спливання частинок. Седиментація і спливання частинок підпорядковуються закону Стокса:

$$U = Vg(\rho - \rho_0)/B,$$

де U — швидкість осідання (спливання), м/с; B — коефіцієнт тертя, Н·с/м. Для сферичних частинок $B = 6\pi\eta r$, і рівняння для швидкості осідання набуває вигляду

$$U = 2r^2 g(\rho - \rho_0)/9\eta,$$

де r — радіус частинки, м; η — в'язкість дисперсійного середовища, с.

Здатність системи до седиментації характеризується константою седиментації

$$S_{\text{сед}} = \vartheta(\rho - \rho_0)/B,$$

або для сферичних частинок

$$S_{\text{сед}} = 2\pi r^2 (\rho - \rho_0)/9\eta.$$

Мірою кінетичної сталості до седиментації є величина, обернена до константи седиментації

$$1/S_{\text{сед}} = 9\eta/2\pi r^2 (\rho - \rho_0),$$

Аналізуючи наведені вирази, можна дійти висновку, що кінетична сталість системи регулюється змінюванням в'язкості і густини дисперсійного середовища, а також густиною і розміром частинок дисперсійної фази [2].

Наявні пристрої та системи контролю за процесом відстоювання ґрунтуються на використанні таких параметрів про стан дисперсного середовища (електропровідність, прозорість, густина), які не дають можливості прогнозувати хід цього процесу, ефективно використовувати наявне обладнання та оптимізувати технологічний процес. Вони, як правило, працюють за жорсткими алгоритмами, мають обмежені можливості щодо оброблення результатів та розширення їх функцій. Неможливість проведення ефективного контролю не дає повної та своєчасної оцінки кондиціонування, що, в свою чергу, впливає на вибір оптимальних режимів роботи станції очистки, фільтрації та дозування реагентів; порушення режимів техпроцесів, і як наслідок, збільшення кількості реагенту, неповного кондиціонування напівпродукту, що понижують якість кінцевого продукту; значні перевитрати паливно-енергетичних ресурсів; фінансові перевитрати, які підвищують собівартість продукції та в ринкових умовах роблять їх неконкурентоздатними [3].

Розроблена на кафедрі хімії та екологічної безпеки ВНТУ автоматизована система контролю за процесом відстоювання дисперсних середовищ дозволяє знайти просторову освітленість дисперсного

середовища, за якою можна визначити: швидкість зміни оптичної прозорості; прогнозувати динаміку процесів відстоювання; одержувати інформацію про стан напівпродукту на різних етапах відстоювання; зафіксувати кінцевий момент відстоювання; майже повністю усунути вплив забруднення стінок дослідного резервуара на результат вимірів; оцінити здатність досліджуваного напівпродукту до відстоювання незалежно від його фізико-хімічних характеристик; встановити хіміко-технологічні властивості сировини, за яких витрати сировинних та енергетичних ресурсів для даного технологічного процесу є оптимальними; в реальному масштабі часу контролювати процес відстоювання та визначити здатність напівпродукту до відстоювання [4, 5].

Процес відстоювання можна розбити на три стадії. Перша стадія (яка відсутня у середовищі з порівняно низькою концентрацією сухих речовин) характеризується незначною швидкістю процесу. Після цього послідовно слідує стадія різкого зростання та спаду швидкості процесу відстоювання. При цьому період спаду швидкості для середовищ з меншою концентрацією сухих речовин помітно триваліший за період зростання швидкості. Третя стадія процесу відстоювання характеризується близькою до нуля швидкістю зміни прозорості. Вона відповідає тому періоду, коли більшість завислих у середовищі твердих частинок пройшла через контрольний рівень. З початком цієї стадії процес відстоювання на даному рівні можна вважати закінченим.

Відмінність значень швидкості та специфіку її зміни на різних етапах процесу відстоювання можна використати для прогнозування ходу цього процесу та визначення моменту його закінчення.

Процес відстоювання середовищ, які відрізняються за своєю природою, характеризується наявністю однакових етапів, що дозволяє розробити алгоритми, які можуть використовуватись для контролю за процесом відстоювання рідин з різним фізико-хімічним складом.

Часові характеристики швидкості зміни прозорості під час відстоювання залежать від температури середовища. Зі збільшенням температури відбувається інтенсифікація процесу відстоювання. Це пояснюється зменшенням густини та в'язкості дисперсної системи з підвищенням температури, і як наслідок, зменшення сил опору.

Для процесу відстоювання є характерними постійні флуктуації прозорості. Їх наявність пояснюється неоднорідністю розподілу твердих частинок в середовищі, яка виникає внаслідок їх коагуляції та утворення у розчині згустків та розріджень різної щільності. Величина таких флуктуацій залежить від температури та концентрації частинок.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Петрук В. Г. Спектрофотометрія світлорозсіювальних середовищ (теорія і практика оптичного вимірювального контролю). — Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2000. — 207 с.
2. Некрасов О. П. Особливості поведінки дисперсних систем: Навч. посібник. — К.: ІЗМН, 1997. — 68 с.
3. Зорі А. А., Коренев В. Д., Хламов М. Г. Методи, засоби, системи вимірювання і контролю параметрів водних середовищ. — Донецьк: РВА ДонДТУ, 2000. — 368 с.
4. Петрук В. Г., Васильківський І. В., Солоненко В. І. Моделювальна автоматизована система для вимірювального контролю оптичних параметрів дисперсних середовищ // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах: Збірник наукових праць. — 2002. — Том 1. — С. 222—226.
5. Вукс М. Ф. Рассеяние света в газах, жидкостях и растворах. — Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1977. — 320 с.

Рекомендована кафедрою хімії та екологічної безпеки

Надійшла до редакції 2.04.03
Рекомендована до опублікування 24.04.03

Петрук Василь Григорович — завідувач кафедри; *Васильківський Ігор Володимирович* — науковий співробітник.

Кафедра хімії та екологічної безпеки;

Турчик Павло Миколайович — студент Інституту електроенергетики, екології та електромеханіки.
Вінницький національний технічний університет