

УДК 543.31

Й. Й. Білинський, к. т. н., доц.;

О. С. Городецька, асп.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЧИСТОТИ РІДИНИ В ЕЛЕКТРОСТАТИЧНОМУ ПОЛІ

Вступ

Запропоновано новий підхід контролю чистоти рідин шляхом визначення поверхневого натягу. Розроблено структурну схему пристрою та експериментальну установку для визначення поверхневого натягу. Проведено дослідження, для яких використовувались дистильована, водопровідна, річкова вода та різні концентрації розчину NaCl. В результаті проведення експерименту отримано геометричні параметри менісків досліджуваних рідин та напруженість електростатичного поля, за якими розраховувалось значення поверхневого натягу рідини.

Вступ

Якість господарсько-питної води повинна відповідати державному стандарту СанПіН [1], згідно з яким серед основних показників якості особливе місце займають показники фізіологічної повноцінності мінерального складу води: загальна мінералізація, жорсткість, лужність, та концентрація синтетичних поверхнево-активних речовин (СПАР), які є широкою групою сполук [2]. СПАР є різними за своєю структурою та відносяться до різних хімічних класів, є аніоноактивні, катіоноактивні, амфолітні і неіоногенні. Розчинення у воді даних домішок викликає зміну поверхневого натягу, який може бути одним із основних показників якості. В зв'язку з чим, пошук нових підходів до визначення поверхневого натягу, розробка нових методів оцінки чистоти та пристроїв на їх основі, підвищення їх точності і покращення експлуатаційних характеристик залишається актуальним.

На сьогоднішній день існує багато методів визначення поверхневого натягу: підняття в капілярі, пластинки, що втягується, висячої та лежачої краплі, відриву кільця, підрахунку крапель, максимального тиску пухирця, осцилюючого струменя, капілярних хвиль на поверхні поділу фаз тощо [3, 4]. Дані методи відрізняються діапазоном вимірюваного часу існування міжфазної поверхні (так званого часу життя), швидкістю та ступінню деформації поверхні в процесі вимірювань, точністю та відтворюваністю результатів. Необхідно зазначити, що більшість цих методів існує лише у вигляді експериментальних установок і не може широко застосовуватись на практиці в зв'язку зі складністю системи дослідження. Але різні компанії починають випускати прилади, засновані на даних методах (LAUDA, Col-Parmer, GBX, Gamma-LAB, KRUSS тощо) [5]. Вартість таких приладів оцінюється в діапазоні \$8000—11000 США.

Дослідження фізико-хімічних параметрів рідин, в тому числі біологічних, за допомогою поверхневого натягу в Україні проводять Донецький медичний університет, Український науковий центр технічної екології, в Європі — Інститут колоїдів і поверхонь ім. Макса Планка (Німеччина), відділ біології Антверпенського університету (Бельгія), приладобудівна компанія LAUDA (Німеччина) та ін. [6].

Основна частина

В зв'язку з вищевикладеним, запропоновано новий підхід, який полягає у можливості отримання параметрів чистоти рідин шляхом визначення поверхневого натягу лежачої краплі досліджуваної рідини, що знаходиться в електростатичному полі, через зміну геометричних параметрів меніска. Використання електростатичного поля дозволяє збільшити чутливість, а також розширити діапазон вимірювання, оскільки під дією електростатичного поля відбувається ріст меніска і сферична крапля перетворюється у витягнутий сфероїд, що дозволяє з вищою точністю вимірювати висоту та радіуси кривизни меніска.

Оскільки вода є полярним діелектриком, то молекули мають власний електричний момент, тобто поляризовані за відсутності електричного поля, і є диполями. Всі напрямки орієнтації диполів за відсутності зовнішнього електричного поля рівномірні, а результату поляризація дорівнює нулю. Включення електричного поля приводить до зміни орієнтації диполів, внаслідок чого і виникає електричний дипольний момент, тобто поляризація. Таким чином крапля деформується, набуваючи форму витягнутого (сплюсненого) сфероїда, а збільшення концентрації домішок в досліджуваній рідині супроводжується зміною поверхневого натягу, а отже, і більш або менш витягнутою формою меніска за відповідного значення напруженості електростатичного поля.

Потенціальна енергія краплі в електростатичному полі E складається з енергії сил поверхневого натягу та електростатичної енергії краплі в полі E [7]:

$$U = U_{\sigma} + U_e, \tag{1}$$

де U_{σ} — енергія сил поверхневого натягу; U_e — електростатична енергія краплі в полі E .

Зв'язок поверхневого натягу з напруженістю електростатичного поля та сфероїдальною деформацією краплі може бути знайдений з вимоги мінімальності повної потенціальної енергії краплі в рівноважному стані

$$\frac{\partial U}{\partial k} = 0 \tag{2}$$

і визначається як

$$\sigma = \frac{4\pi\epsilon_0 E^2 R}{W}, \tag{3}$$

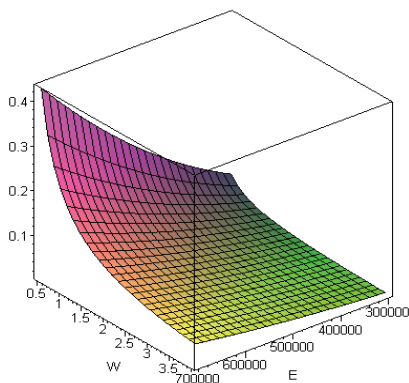


Рис. 1. Залежність поверхневого натягу від параметра Тейлора та напруженості електростатичного поля

де k — коефіцієнт деформації краплі; ϵ_0 — діелектрична стала; R — радіус сферичної краплі, рівний за об'ємом сфероїду, що розглядається; E — напруженість електростатичного поля; W — параметр Тейлора, який характеризує стійкість краплі в полі E і є безрозмірною величиною [7].

На рис. 1 показана залежність поверхневого натягу у вигляді тривимірної поверхні при відомому діапазоні зміни параметра Тейлора та напруженості електростатичного поля. Ця залежність показує, що для визначення поверхневого натягу води, який відповідає значенню $72 \cdot 10^{-3}$ Н/м, напруженість електростатичного поля E повинна бути в діапазоні 350...600 кВ/м, а параметр Тейлора — в діапазоні 2...3. Зростання напруженості електростатичного поля супроводжується збільшенням параметра Тейлора, що приводить до зниження поверхневого натягу.

Для визначення поверхневого натягу в електростатичному полі розроблено пристрій, структурна схема якого наведена на рис. 2. Пристрій містить електроди 1, 2, закріплені в основі 3, між якими розміщується кювета з досліджуваною рідиною 7. Електростатичне поле між електродами призводить до зміни форми меніска, яка реєструється за допомогою фотокамери 5 та передається в блок обробки інформації 6, де розраховується значення поверхневого натягу.

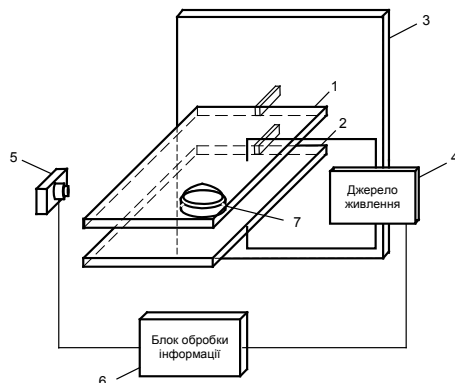


Рис. 2. Структурна схема пристрою

Для проведення досліджень розроблена експериментальна установка, показана на рис. 3, що дозволяє визначати поверхневий натяг досліджуваної рідини. Електроди закріплені у штативі паралельно один одному з можливістю вертикального переміщення (рис. 4) та виконані у вигляді пластинок зі скла марки СТК3 розміром $60 \times 48 \times 2,2$ мм з нанесеним на верхню та нижню стінки провідним шаром SnO_2 . Штатив забезпечує можливість вертикального переміщення електродів та містить шкалу, яка дозволяє вимірювати відстань між електродами з точністю 0,01 мм. На нижньому електроді розміщена кювета. Для прове-

мм та висотою від 3 до 6 мм, виготовлені зі скла марки ЛК5. Блок електродів знаходився у вакуумі, який створювався вакуумним насосом 2НВР-5ДМ з двигуном потужністю 0,55×1500 кВтхоб/хв. Граничний залишковий тиск, що створювався насосом, $5 \cdot 10^{-3}$ мм рт ст.



Рис. 3. Експериментальна установка

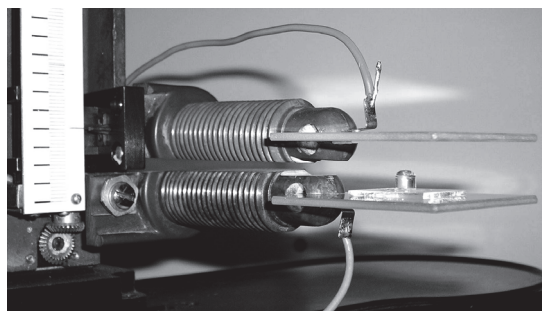


Рис. 4. Блок електродів

Між електродами створювалось однорідне електростатичне поле джерелом живлення ТЕС-88 $U_{\text{вих}} = 30$ В, $I_{\text{вх}} = 2$ А та помножувачем, який дозволяє підсилити вихідну напругу від 8 до 12 кВ. Створене електростатичне поле направлене перпендикулярно площині електродів і паралельно осі симетрії меніска. Для реєстрації зображення використовувалась фотокамера Olympus D-560 Zoom з роздільною здатністю 3,2 МПікселей, яка розміщувалась на штативі для зняття профільного зображення краплі. Для обробки параметрів дослідження використовувався персональний комп'ютер CPU Intel Celeron 2.0 ГГц, CDRAM 128 МБайт.

Для проведення експерименту використовувались дистильована, водопровідна, річкова вода та розчини NaCl концентрацією від 1 % до 25 %. В результаті чого були отримані геометричні параметри крапель при різних значеннях напруженості електростатичного поля, відеообрази яких показані на рис. 5. На рис. 5а, 5в показані краплі дистильованої води (еталонної рідини) та 25 % розчину NaCl, що знаходяться в стані спокою за відсутності електростатичного поля, та 5б, 5г — за наявності електростатичного поля.

Зміна висоти та радіуса кривизни меніска при напруженості електростатичного поля 600 кВ/м і діаметрі кювети 6 мм для дистильованої води відповідно складає $\Delta h = 0,02$ мм, $\Delta R = 0,1$ мм, для водопровідної води $\Delta h = 0,54$ мм, $\Delta R = 1,53$ мм, для річкової води $\Delta h = 0,38$ мм, $\Delta R = 1,34$ мм, для 25 % розчину NaCl — $\Delta h = 0,4$ мм, $\Delta R = 0,89$ мм. В разі збільшення діаметра кювети зміна висоти та радіуса кривизни зменшується. Таким чином, дослідження показали суттєві відмінності зміни показників кривизни менісків досліджуваних рідин, що дозволяє зробити висновок про можливість дослідження параметрів чистоти рідин, зокрема

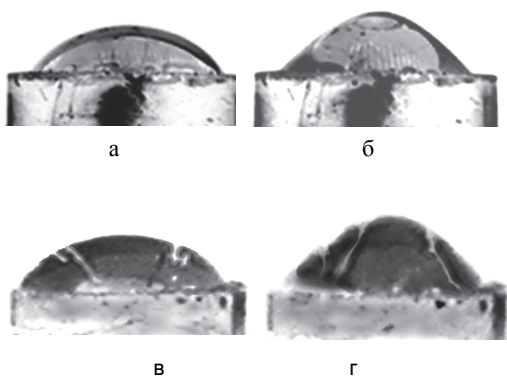


Рис. 5. Відеообрази краплі: а — дистильованої води за відсутності електростатичного поля (діаметр кювети 6 мм); б — дистильованої води при наявності електростатичного поля ($E = 600$ кВ/м), в — 25 % розчину NaCl за відсутності електростатичного поля; г — 25 % розчину NaCl за наявності електростатичного поля ($E = 600$ кВ/м)

показників кривизни менісків досліджуваних рідин, що дозволяє зробити висновок про можливість дослідження параметрів чистоти рідин, зокрема чистоти води, використовуючи відеообраз краплі в електростатичному полі.

Висновок

Вимірювання поверхневого натягу дозволяє встановити чистоту рідини, оскільки наявність катіонів, аніонів та СПАР має вплив на значення цього параметра. Розроблена структурна схема пристрою та експериментальна установка для визначення поверхневого натягу рідин, проведені дослідження, для яких використовувались дистильована, водопровідна, річкова вода та різні концентрації розчину NaCl. В результаті проведення експерименту отримані параметри напруженості електростатичного поля та геометричні параметри меніска досліджуваних рідин, за якими розраховувалось значення поверхневого натягу рідин.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Державні санітарні правила і норми «Вода питна, гігієнічні вимоги до якості води централізованого господарсько-питного водопостачання». — Введ. 23.12.96. — К.: Вид-во стандартів, 1996. — 24 с.
2. Мокін В. Б., Мокін Б. І. Математичні моделі та програми для оцінювання якості річкових вод. — Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2000. — 152 с.
3. Поверхностные явления и поверхностно-активные вещества: Справочник / А. А. Абрамзон, Л. Е. Боброва, Л. П. Зайченко и др.; под ред. А. А. Абрамзона и Е. Д. Шукина. — Л.: Химия, 1984. — 392 с.
4. Патент 71576 С2. Україна, МПК G 01 N 13/02. Оптико-електронний вимірювач поверхневого натягу рідини / Білинський Й. Й., Білошкурська О. С., Сіренко С. О. — № 2001042381; Заявл. 10.04.2001; Опубл. 15.12.2004, Бюл. № 12.
5. Казаков В. Н., Миллер Р., Семикоз Н. Г. и др. Динамическая межфазная тензиометрия — новый метод изучения биологических жидкостей человека: I: Используемая техника // Вестник новых медицинских технологий. — 1997. — Т. 4. — № 4. — С. 100—103.
6. Городецька О. С. Білинський Й. Й. Нові підходи в автоматизації визначення поверхневого натягу рідин // Вісник Технологічного університету Поділля. — 2004. — Т. 3. — № 3. — С. 117—120.
7. Григорьев А. И., Щукин С. И. Локальное увеличение напряженности однородного электростатического поля вблизи вершины сфероидальной капли // Журнал технической физики. — 1999. — Т. 69. — № 8. — С. 49—54.

Рекомендована кафедрою проектування комп'ютерної та телекомунікаційної апаратури

Надійшла до редакції 21.12.04
Рекомендована до друку 26.01.05

Білинський Йосип Йосипович — доцент, **Городецька Оксана Степанівна** — аспірантка.

Кафедра проектування комп'ютерної та телекомунікаційної апаратури, Вінницький національний технічний університет