

УДК 544.27:537.311.3.08

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ВИМІРЮВАНЬ ЕЛЕКТРИЧНОГО ОПОРУ СКЛАДНИХ ВОДНИХ РОЗЧИНІВ

Л.М. Черняк

Доктор технічних наук, професор*

Контактний тел.: (0542) 68-77-36

E-mail: leonidmm@mail.ru

Ю.А. Зимак

Кандидат технічних наук, доцент*

Контактний тел.: (0542) 78-03-10

E-mail: zimak@ukr.net

А.М. Хмаренко

Завідувач лабораторіями*

*Кафедра загальної та теоретичної фізики

Сумський державний університет

вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007

Контактний тел.: (0542) 68-77-35

E-mail: chernyak@gap.sumdu.edu.ua

Приведені результати пошуків удосконалення методики вимірювань електричного опору різних водних розчинів, в тому числі рідин, що використовуються в харчових технологіях, а також представлені перші одержані експериментальні результати, які практично підтверджують вирішення поставленої проблеми

Ключові слова: рідина, вимірювальна система, поляризація електродів, електричний опір, електропровідність, структура рідини, фізичні характеристики рідин, юстировка, частотні характеристики

Приведены результаты исследований усовершенствования методики измерений электрического сопротивления различных водных растворов, включая жидкости, которые используются в пищевых технологиях, а также представлены первые экспериментальные результаты, которые подтверждают решение поставленной проблемы

Ключевые слова: жидкость, измерительная система, поляризация электродов, электрическое сопротивление, электропроводимость, структура жидкости, физические характеристики жидкостей, юстировка, частотные характеристики

The search results of more progressive method of measurement of electric resistance for different water solutions are presented in this article. Experimental measurement results are got and confirm the decision of problem by example of liquids which use in food industry

Keywords: Liquid; measurement system; polarization of electrodes; electric resistance; conductivity; structure of liquid; physical properties of liquids; calibration; frequency descriptions

Вступ

Як відомо, при зберіганні багатьох речовин, зокрема харчових (різноманітних соків, пива, молока, алкогольних напоїв та інших) відбуваються необоротні хіміко-біологічні процеси, які однозначно характеризуються змінами хімічних і фізичних параметрів. Тому за останні роки проводиться активне вивчення електричних, магнітних та інших фізичних характеристик рідин. Це пов'язано як із зростанням вимог до якості контролю за проведенням технологічних процесів виготовлення різних рідин, так і із потребою продовження термінів збереження рідин без суттєвої зміни їх споживчих властивостей.

На базі таких досліджень створюються нові експрес-методи визначення якості певного класу рідин.

Одночасно актуальними є дослідження фізичних характеристик (параметрів) рідин в залежності від різних впливів, зокрема впливу температури, часу і способу зберігання, опромінення різними фізичними полями.

У всіх таких дослідженнях актуальним є вирішення проблеми, як зв'язати вимірювані на дослідах фізичні параметри рідин з їх споживчими властивостями. Для цього необхідно методом досліджень і співставлень знайти ті характерні параметри, які були б однозначно пов'язані зі змінами якості досліджуваних рідин та одночасно були відносно просто вимірюваними на досліді.

Дослідження фізичних параметрів рідин, які складаються з розчинів різних речовин – компонентів у воді (водогінна і річкова вода, молоко та молочнокислі про-

дукти, соки, різні безалкогольні та алкогольні напої та їм подібні рідини) є складною експериментальною задачею. Це є наслідком того, що рідина проявляє двоїсті властивості: характерні як для газів, так і твердих тіл. Як показують дослідження і теорія, рідина за своїми властивостями знаходиться ближче до кристалічних тіл [1-4]. Систематичне вивчення структурних властивостей та запропонована перша дискретна модель води належить Берналу та Фаулеру [5], такі моделі пропонувались також багатьма іншими дослідниками [4,6-7,9]. Але не зважаючи на всі успіхи теорії, на сьогодні аналітичний опис структурних моделей рідин можливий тільки на основі врахувань експериментальних результатів, які характеризують властивості не всіх рідин, а тільки той чи інший окремий клас рідин. Складність проблеми полягає в тому, що для вимірювань електромагнітних властивостей – електричного опору, діелектричної і магнітної проникностей та інших параметрів, через рідину треба пропускати електричний струм. Протікання електричного струму в іонних рідинах супроводжується рядом побічних процесів, зокрема поляризацією електродів з виникненням поляризаційної ЕРС, значною зміною стану руху сольватів в тій чи іншій ділянці спектра вимірювань, що в свою чергу супроводжується зміною локальних магнітних та електричних властивостей та іншими складними і заплутаними явищами. Всі ці особливості проявляються в реальних рідинах біля електродів-датчиків. Зокрема, в рідинах не залежно від їх типу біля поверхонь електродів завжди створюються подвійні заряджені шари та відбуваються ряд інших явищ. Все це супроводжується не тільки виникненням ЕРС поляризації, але і зміною хіміко-біологічного складу рідини і навіть її стану. Крім цих ефектів, відбувається нагрівання приелектродних шарів рідини та ряд інших явищ [9-10]. Тому при виборі методик досліджень необхідно враховувати ці явища або хоча б ті з них, які найбільш суттєво впливають при вимірюванні конкретного фізичного параметра рідини.

Такі дослідження ускладнюються також тим, що сама вода серед всіх рідин є особливою з аномальними властивостями, які пов'язані з особливою будовою її молекули і типами зв'язків всередині молекул [4-7].

Поставлене завдання

Після літературних пошуків (наприклад, [9-11]) і власних багатократних експериментів було встановлено, що використовувати методи вимірювань фізичних характеристик, які є універсальними при вивченні фізичних властивостей твердих тіл, не можна і що для вимірювання кожної фізичної величини в конкретній рідині необхідно застосовувати таку методику досліджень, яка найбільш точно характеризує властивості досліджуваної рідини. Приведемо такий приклад. Запропонований в [11] метод вимірювань електропровідності розчинів спирту у воді ґрунтується на вимірюванні частотних характеристик компонент повного опору (імпедансу) та комплексної діелектричної проникності досліджуваних розчинів у діапазоні частот (0,1Гц – 200кГц), потребує більш детальнішого врахування не тільки електричних, але й магнітних та інших характеристик дистильованої води (чого в цитованих роботах не проведено).

Нами поставлена задача на базі багатьох відомих методик, які як правило є складними для практичного застосування, знайти прості, але точні і надійні методи вимірювань електричного опору при експрес-методах аналізу.

Результати

Оскільки будь-які зміни структури, складу чи навіть стану рідини (в тому числі при дії на неї зовнішніх факторів, наприклад, тих чи інших силових полів) змінюються в першу чергу її електричні властивості, тому нами розроблена вимірювальна система, яка дозволяє одержувати відтворювані результати вимірювань електричного опору та його відносні зміни у різних водних розчинах. Розроблена система-стенд, яка включає найменшу кількість приладів (тому, що кожен прилад чи зайва ділянка складного електричного кола вносять свою похибку у процес вимірювань) і при цьому показання кожного з приладів повинні бути незалежними від показань іншого. Принципова схема однієї із таких вимірювальних схем показана на рис. 1.

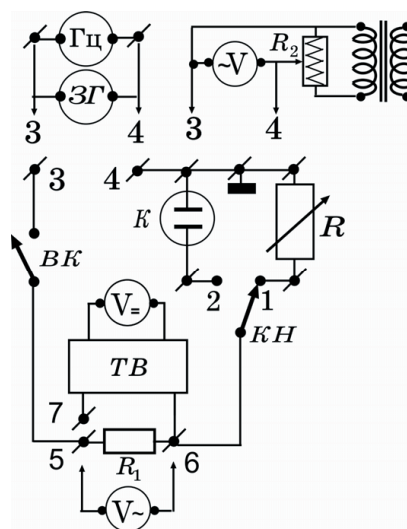


Рис. 1. Блок-схема стенду для вимірювання повного опору рідин

До складу вимірювальної системи-стенду входять посудина (кювета К), джерела 3–4 змінної напруги, калібрований набір безіндукційних опорів R, точний випрямляч ТВ, вольтметри постійного і змінного струму, безіндукційний опір R1.

Кювета К заповнюється досліджуваною рідиною. В разі потреби встановлюється мішалка, елементи якої хімічно стійкі відносно досліджуваної рідини. Для підтримання сталої температури використовується термостат з регульованим рівнем температури, а також датчик температур і контрольні термометри високої чутливості та інше необхідне обладнання.

Для вивчення характеристик вимірювального стенду спочатку вивчали частотні залежності вимірювальної системи без досліджуваних рідин (у повітрі). Такі характеристики можна назвати частотними характеристиками холостого ходу вимірювальної системи. Одна з таких характеристик показана на рис. 2.

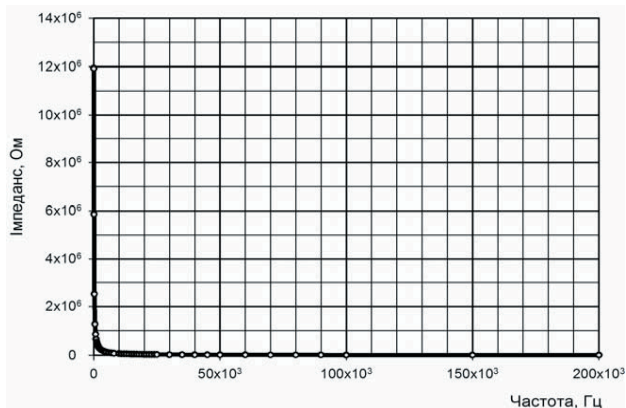


Рис. 2. Залежність повного опору холостого ходу вимірювальної системи від частоти вимірюючого струму

Такі характеристики дозволяють при вимірюваннях конкретних характеристик рідин вказати границі, в межах яких можна знехтувати тими чи іншими величинами. На графіку рис. 2 видно, в яких областях частот можна знехтувати індуктивним чи ємнісним реактивними складовими електричного опору. Зокрема, в області частот до 4000 – 5000 Гц відбувається дуже швидкий перехід із області ємнісної до індуктивної складової повного опору (імпедансу). Цей факт потрібно враховувати при реальних вимірюваннях електричного опору рідин.

Були проведені пробні вимірювання електричного опору реальних рідин. На першому етапі за мету ставилась задача перевірити можливості вимірювальної системи. Це було виконано одночасно з метою перевірки відомих досліджень, щоб впевнитись, наскільки сам склад води, як розчинника, впливає на всі вимірювання. Для цього вимірювався повний електричний опір стандартної дистильованої води. На рис. 3 приведений один із таких одержаних типових графіків, а на рис. 4 показаний графік залежності повного електричного опору дистильованої і одночасно демінералізованої води.

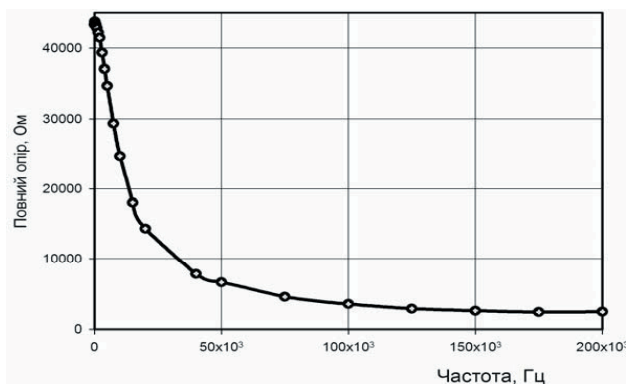


Рис. 3. Залежність повного опору стандартної дистильованої води при сталій температурі від частоти вимірювальної системи в області частот 25 – 200 кГц

Як видно з порівняння графіків на рис. 3 і 4, частотна залежність електричного опору дистильованої і демінералізованої води в області частот 25 Гц до 200 кГц в порівнянні із такими ж характеристиками стандар-

тної дистильованої води при однакових температурах є подібними, але суттєво іншими за величинами.

Характерним для обох графіків є перехід від області відносно швидкої зміни опору (до 70 кГц) до області в якій зміна електричного опору відбувається набагато повільніше. Встановлено, що такий перехід є характерним для всіх зразків дистильованої води. Виникає думка, що існування області швидких змін опору вказує на те, що вимірювання характеристик дистильованих вод доцільно проводити саме на частотах не менших 100 кГц.

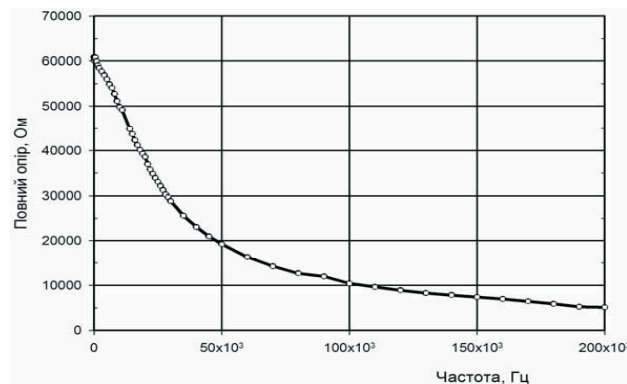


Рис. 4. Залежність повного опору дистильованої і демінералізованої води при сталій температурі від частоти вимірювальної системи в області частот 25 – 200 кГц

Для остаточної перевірки вимірювальної методики на рис. 5 показана одержана на стенді, що на рис. 1 залежність повного опору водогінної води при сталій температурі 20°C.

Як видно, графік залежності повного електричного опору водогінної води міської водогінної системи від частоти струму у вимірювальній системі має суттєві відмінності від графіків на рис. 3 і 4. По-перше, зменшився на порядки електричний опір води. Крім того, в області частот 60–90 кГц, на відміну від результатів попередніх вимірювань, з'явився мінімум опору, після якого відбувається збільшення (підйом) електричного опору. Причини такого збільшення опору потрібно з'ясувати, тобто, зв'язати його з хіміко-біологічним складом та структурою води. Така задача в цій статті не ставиться.

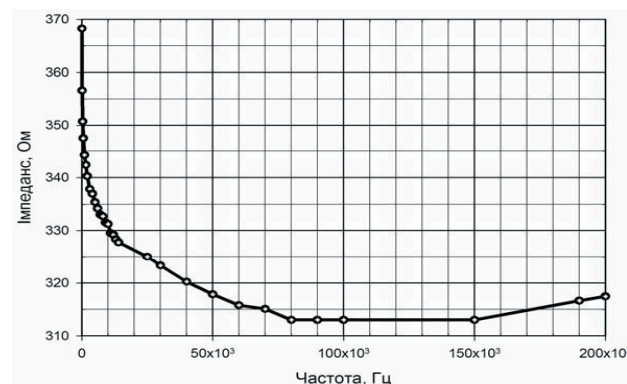


Рис. 5. Залежність повного опору водогінної води від частоти струму вимірювальної системи в області частот 25 Гц – 200 кГц при сталій температурі

Як пробний реальний результат випробування розробленої системи на рисунку 6 приведений графік залежності повного опору пива «Оболонь» від частоти струму вимірювальної системи при сталій температурі.

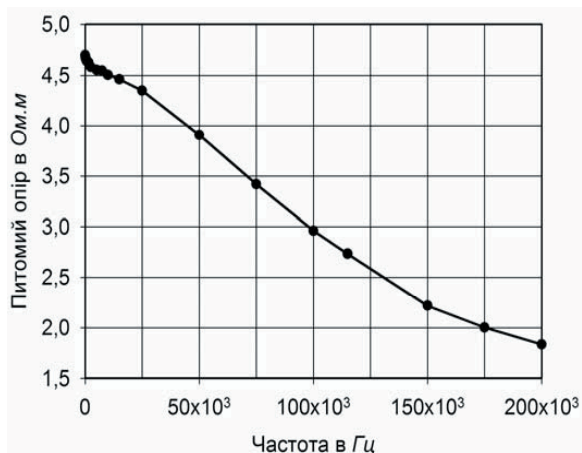


Рис. 6. Графік частотної залежності питомого опору пива при сталій температурі

Обговорення поведінки графіка для пива в цій статті не ставиться.

Висновки

1. Розроблені методика і стенд для надійних вимірювань залежності електричного опору іонних рідин.
2. Одержані графіки функціональної залежності повного електричного опору холостого ходу від частоти вимірюючого струму при сталій температурі які показують, що при зміні частот вимірювального струму відбувається перехід від ємнісного до індуктивного опору.
3. Проведені перші випробування методики вимірювань і отримані залежності електричного опору дистильованої води, одержаної від різних виробників. Ці результати показують, що для мінімізації похибок вимірювань експериментальних даних на реальних технологічних розчинах необхідно враховувати склад води як розчинника.
4. Результати вимірювань показують, що навіть незначна зміна складу води суттєво впливає на її фізичні властивості і відповідно на властивості технологічних рідин. Такі результати дають можливість робити висновки не тільки про якість води як розчинника в технологічних рідинах, до складу яких вода входить як розчинник, але одночасно в такий спосіб можна визначати відмінність між стандартними характеристиками води, які покладені в ДОСТ на виготовлення продукції і реально використовуваної (вказати на фальсифікацію продукту).

Література

1. Френкель Я.И. Кинетическая теория жидкости.- Ленинград.: Наука,- 1975.- 592 с.
2. Дорош А.К. Структура конденсированных систем.- Львов.: В. школа,- 1981.-176с.
3. Дерягин Б.В., Чураев Н.В. Новые свойства жидкостей.- М.: Наука,- 1971.
4. Черняк Л.М. Докт. диссертация,- специальность 05.14.06 "Техническая теплофизика",- Харьков,: ИПМАШ НАУ,- 1995,- 518 с.
5. Бернал Д., Фаулер Р. Структура воды и ионных растворов //Успехи физических наук.- 1934.-т.14.- № 5.- с.584-644.
6. Самойлов О.Я. Структура водных растворов электролитов и гидратация ионов.- М.: АН СССР,- 1957.- 202 с.
7. Антонченко В.Я. Физика воды.- Киев.: Наукова думка,-1986.-128с.
8. Саркисов Г.Н. Структурные модели воды. Ж. УФН, т.176, №8,- 2006,- с.833-845.
9. Левич В.Г. Физико-химическая гидродинамика.- М.: АН СССР,- 1952,-538с.
10. Усиков С.В. Электрометрия жидкостей,- Л.: "Химия",- 1974,-144 с.
11. Верцімаха Я.І., Кукла О.Л., Павлюченко О.С., Савченко Г.П. Патент UA №19620,- 2006 р., Патент на корисну модель.