

УДК 628.1.033

ВИКОРИСТАННЯ ІМІТАНСНОГО МЕТОДУ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ТВЕРДОСТІ ВОДИ*Н.В. Мартинович, Є.В. Походило**Національний університет "Львівська політехніка", вул. С. Бандери, 12, 79013, м. Львів,
тел. 032-258-23-94, nlalak@ukr.net; evgenp@meta.ua*

Запропоновано методику контролю твердості питної води за параметрами комплексної провідності (адмітансу) двополюсника, яким вона моделюється в електричному колі змінного струму. Досліджено залежності активної та реактивної складових адмітансу води з різним рівнем твердості від частоти.

Ключові слова: питна вода, твердість, двополюсник, адмітансний метод, змінний струм, моделювання, частота.

Предложено методику контроля жесткости питьевой воды за параметрами комплексной проводимости (адмитансу) двухполюсника, которым она моделируется в электрической цепи переменного тока. Исследовано зависимости активной и реактивной составляющих адмитанса воды с разным уровнем жесткости от частоты.

Ключевые слова: питьевая вода, твердость, двухполюсник, адмитансний метод, переменный ток, моделирование, частота.

It is suggested to control hardness of drinking-water of the parameters of complex conductivity (admittance) of impedor which it is given in the electric circle of alternating current. Investigational dependence active and reactive constituents of admittance the water with the different level of hardness from frequency

Key words: drinking water, hardness, impedor, admittance method, alternating current, modeling, frequency.

Твердість води є одним із основних показників її якості. Особливо стосується це питної води, твердість якої регламентується нормативними документами у встановлених межах [1]. Якщо переважно дотримувалися обмеження верхньої межі твердості води, використовуючи для цього різного роду фільтруючі засоби (особливо на побутовому рівні безконтрольно), то обмеження мінімально допустимих значень твердості практично не здійснювалося. Однак, відхилення твердості питної води як в один, так і другий бік від заданих меж негативно відбивається на здоров'ї людини [2]. Часто для контролю твердості води, що визначається загальним вмістом розчинених у ній солей, використовують кондуктометри, що реалізують метод вимірювання провідності, переважно на одній частоті тестового сигналу. При цьому інформативним параметром вибрано активну провідність [3]. Останніми роками проводяться дослідження аналогічних об'єктів з аналізом поряд з активними складовими також реактивних складових [4] їх імітансу (адмітансу або адмітансу) та зміни таких складових від частоти тестового сигналу. У такому разі є можливість отримати більше інформації про стан води, що дає можливість виявляти

характерні особливості зміни електричних параметрів від її фізико-хімічного складу та будувати відповідні технічні засоби оперативного контролю.

На рис.1 схематично зображено вимірювання параметрів імітансу за допомогою комп'ютерних програм та серійного багаточастотного цифрового вимірювача імітансу [5]. Така цифрова техніка дає можливість отримувати узагальнені характеристики електрохімічної реакції міжфазних процесів і структур, а комп'ютерне опрацювання спрощує вирішення поставленої задачі.

Об'єкт дослідження під'єднується до вимірювача через первинний перетворювач, який здійснює узгодження параметрів об'єкта з електричною величиною, вимірюваною приладом. Такою фізичною електричною величиною може бути як імпеданс, так і адмітанс первинного перетворювача з об'єктом контролю. Вимірювач імітансу дозволяє досліджувати електропровідні властивості матеріалів та реєструвати активну і реактивну складові імітансу при накладанні на досліджуваний зразок синусоїдального сигналу (напруга чи струм) фіксованих амплітуди та

частоти у визначених межах їх змін. Оскільки різні об'єкти дослідження характеризуються різними залежностями активних і реактивних складових імпедансу від частоти, то це робить можливим отримання інформації про фізико-хімічні властивості об'єктів за аналізом отриманих результатів.

Метою роботи є дослідження залежності активних та реактивних складових адмітансу води з різним рівнем твердості при сталому рівні амплітуди тестового сигналу від частоти в заданому діапазоні, а на основі аналізу отриманих результатів виявити характерні особливості для можливого їх використання в технічних засобах та методиках оцінювання твердості води в нормованому діапазоні.

Твердість води обумовлена присутністю у воді значної кількості вуглекислих і сірчано-кислих солей кальцію та магнію, які в нашому випадку впливають на вибрані інформативні параметри, а саме: активну $\text{Re}(Y)$ (кондуктанс) та реактивну $\text{Im}(Y)$ (суццептанс) складові адмітансу Y . Авторами проведено дослідження зразків водних розчинів з різною твердістю води. Отримано залежності зазначених складових від частоти тестового сигналу при фіксованому його рівні.

Дослідження здійснювалися за допомогою вимірювача параметрів імпедансу в частотному діапазоні 50 Гц – 100 кГц з рівнем синусоїдального тестового сигналу 1В. При цьому були створені умови для підтримання сталої температури досліджуваного розчину ($22 \pm 0,5$) °С. Для увімкнення об'єкта в електричне коло використовувався первинний двоелектродний перетворювач коаксіальної конструкції занурювального типу.

Спочатку протестували первинний перетворювач із дистильованою водою, яка теоретично не повинна містити домішок та сторонніх іонів. Відповідно електропровідність дистильованої води повинна бути низькою. Однак, оскільки первинний перетворювач має свої початкові параметри, що визначаються його конструктивними особливостями, то в частотному діапазоні дії тестового сигналу отримуємо залежності складових імпедансу вже перетворювача з водою. Отримані залежності реактивної та активної складової адмітансу перетворювача з дистильованою водою наведено на рис. 2.

Для дослідження твердості води створювалися робочі еталони різних значень твердості шляхом розчинення солей кальцію та магнію в тестованій дистильованій воді.

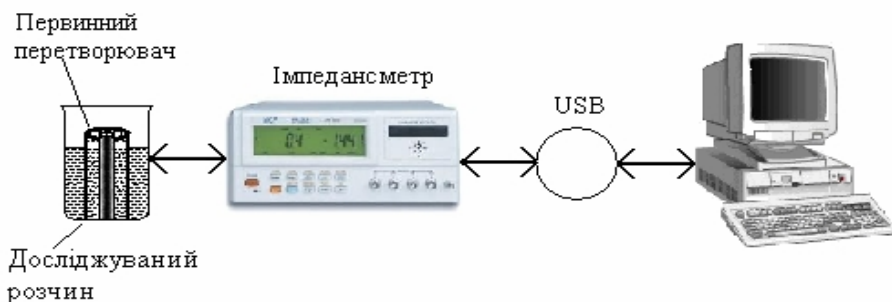


Рисунок 1 – Структурна схема вимірювання імпедансу

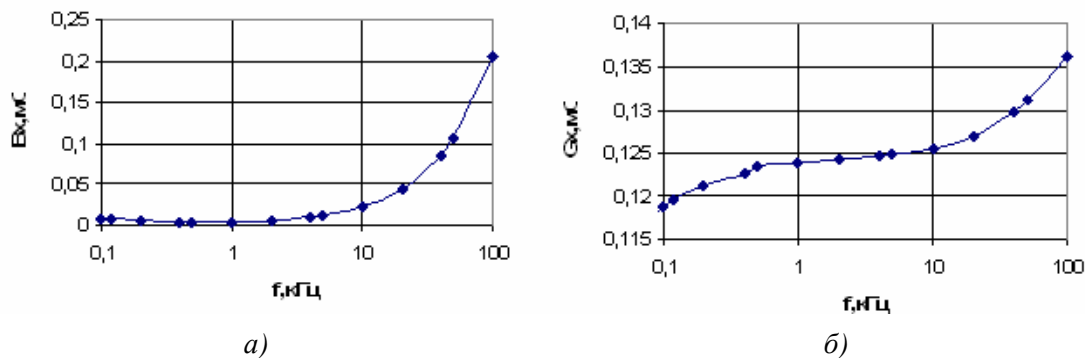


Рисунок 2 – Залежність реактивної (а) та активної (б) провідності від частоти для дистильованої води

Таким чином було отримано наступні значення розрахованої твердості води: 0,21 мг-екв/л; 0,67 мг-екв/л; 1,83 мг-екв/л; 2,9 мг-екв/л; 3,9 мг-екв/л; 5,6 мг-екв/л; 6,8 мг-екв/л; 9,6 мг-екв/л; 11,9 мг-екв/л; 14,45 мг-екв/л. При створенні модельної системи усувається методична похибка, а саме: вплив інших компонентів води на електропровідність. Відомо, що у природній воді містяться солі, які не впливають на твердість, але можуть змінювати її електропровідні властивості.

Нагадаємо при цьому, що в залежності від твердості води її поділяють на дуже м'яку, м'яку, середньої твердості, тверду та дуже тверду:

- дуже м'яка – не більше 2 мг-екв/л;
- м'яка – не більше 4 мг-екв/л;
- середньої твердості – 4-8 мг-екв/л;
- тверда – 8-12 мг-екв/л;
- дуже тверда – понад 12 мг-екв/л.

Отримані графічні залежності, що характеризують зміну реактивної складової адмітансу води різного рівня твердості, представлені на рис. 3.

Слід зауважити, що із появою у воді солей твердості не тільки збільшується активна та реактивна складові адмітансу, а й характер зміни суспендансу набуває іншого вигляду. Це

дає можливість контролювати якість питної води, присутність у воді солей твердості, а також можна говорити про якість дистильованої води. Цікаво, що суспенданс модельного зразка м'якої води зростає в частотному діапазоні від 100Гц до 10 кГц, після чого починає спадати. Реактивна електрична провідність B_x зразка твердої та дуже твердої води зростає до частоти 20 кГц, після чого відбувається повільний спад. Із графіків рис. 1 чітко помітно, що із збільшенням твердості води, а, відповідно, і її провідності, відбувається змiщення по частоті від менших значень до більших. Найбільша реактивна провідність припадає на діапазон частот $5 \div 20$ кГц. Якщо ж суспенданс не досягає максимальних значень в межах цієї частоти, то можна робити висновок, що досліджуваний зразок має дуже малу кількість мінеральних солей, що не задовольняє фізіологічної повноцінності мінерального складу питної води. Згідно з [1] нормативи загальної твердості питної води повинні бути в межах $1,5 \div 7,0$ мг-екв/л, хоча таку воду доцільно також використовувати в технічних цілях.

На рис. 4 наведена залежність активної складової адмітансу від частоти.

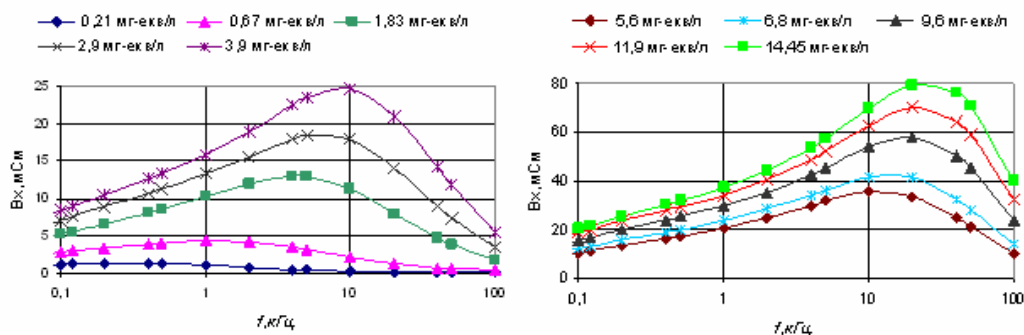


Рисунок 3 – Залежність реактивної складової адмітансу від частоти для м'якої (а), твердої та дуже твердої (б) води

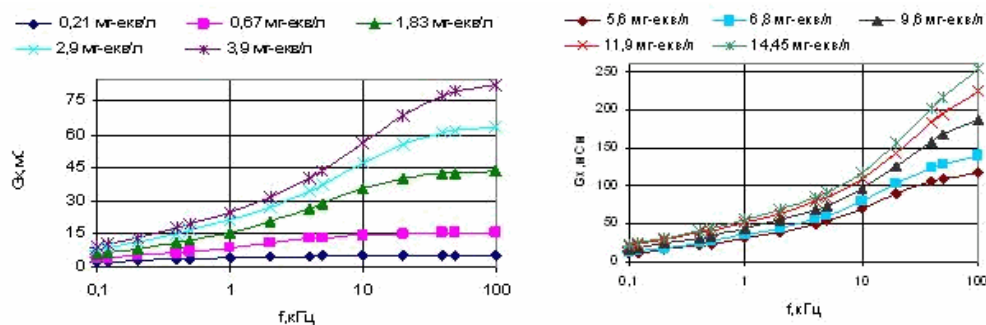


Рисунок 4 – Залежність активної провідності від частоти для м'якої (а), твердої та дуже твердої (б) води

Зрозуміло, що із збільшенням твердості питної води кондуктанс зростає. Причому приріст спостерігається на всьому діапазоні частот. Дані залежності, на думку авторів, є менш інформативними.

Найбільшого значення активна провідність має місце на частоті $20 \div 100$ кГц. Це простежується для всіх типів твердості питної води.

ВИСНОВКИ

Отримані залежності активної складової від різного рівня твердості можуть бути основою для побудови вимірвальних засобів на фіксованій частоті тестового сигналу. Причому у вибраному частотному діапазоні спостерігається монотонне зростання даної складової від твердості. При цьому для вищої частоти абсолютна різниця значень провідності більша.

Залежність реактивної складової адмітансу води різної твердості від частоти тестового сигналу має характерні зміни на певних частотах, а саме: досягається максимальне значення для складової адмітансу води різної твердості на різних частотах. При цьому така частота пропорційна твердості води. Таким чином, вимірюючи частоту, на якій досягається максимальне (екстремальне) значення реактивної складової, можна судити про рівень твердості контрольованої води. Частотний діапазон для м'якої води $1 \div 10$ кГц, а для твердої $10 \div 20$ кГц.

Прийнявши як еталонні значення порівняння активну та реактивну складові імітансу стандартного зразка на фіксованих частотах, що відповідають відповідним рівням твердості води, встановленим за традиційними методиками, можна оцінювати її твердість.

Оцінювання твердості води за складовими імітансу дає можливість будувати технічні засоби оперативного контролю якості

дистильованої води, відслідковуючи найменшу зміну сольового складу води, забезпечувати нормативи загальної твердості питної води систем водопостачання, контролювати ефективність фільтрувальних пристроїв впродовж їх експлуатації.

1. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною : ДСанПіН 2. 2. 4 – 171 – 10. – [Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 1 липня 2010 р. за N 452/17747]. – К. : Міністерства охорони здоров'я України, 2010. – 45 с. 2. Проданчук М.Г. Науково-методичні аспекти токсиколого-клінічних досліджень впливу мінерального складу питної води на стан здоров'я населення (огляд літератури) / М.Г. Проданчук, І.В. Мудрий, В.І. Великий, Г.І. Петрашенко, А.А. Калашиніков [та ін.]. // Сучасні проблеми токсикології. – 2006. – №3. – С. 6 – 10. 3. Зорі А.А. Методи, засоби, системи вимірювання і контролю параметрів водних середовищ / А.А. Зорі, В.Д. Коренєв, М.Г. Хламов // РВА ДонНТУ. – 2000. С. 110 – 123. 4. Походило Є.В. Контроль якості питної води за електричними параметрами / Є.В. Походило, О.В. Гонсьор // Вимірвальна техніка та метрологія. – 2008. – №68. – С. 237 – 242. 5. Походило Є.В. Розвиток теорії та принципів побудови засобів вимірювання імітансу об'єктів кваліметрії: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук: спец. 05.11.05 „Прилади та методи вимірювання електричних та магнітних величин” / Походило Євген Володимирович ; Національний ун-т “Львівська політехніка”. – Львів, 2004. – 40 с.

Поступила в редакцію 15.04.2011 р.

Рекомендував до друку докт. техн. наук,
проф. Яцук В. О.