

<https://doi.org/10.31891/2219-9365-2022-71-3-5>

УДК 504.064.38

СВГЕНІЯ ПИРОЖЕНКО

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

<https://orcid.org/0000-0002-6298-8670>

e-mail: andreyperik@gmail.com

ВАДИМ СЕБКО

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

<https://orcid.org/0000-0002-3561-6281>

e-mail: vadim.sebko@gmail.com

ВАЛЕРІЙ ЗДОРЕНКО

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут"

<https://orcid.org/0000-0001-6508-4290>

НАТАЛІЯ ЗАЩЕПКИНА

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут"

<https://orcid.org/0000-0001-9397-6632>

ВИЗНАЧЕННЯ ПОХИБОК СУМІСНИХ ВИМІРЮВАНЬ ПИТОМОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРОВІДНОСТІ χ_t , ВІДНОСНОЇ ДІЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРОНИКНОСТІ ε_r ТА ТЕМПЕРАТУРИ t ЗРАЗКІВ ПИВНИХ СТОКІВ

Отримали подальший розвиток методи, прийоми та алгоритми, які пов'язано з оцінюванням похибок сумісних вимірювань функції багатьох змінних, а саме функції перетворення, яка виражена залежністю нормованих характеристик перетворювачів (нормованих узагальнених характеристик, ЕРС, фазових кутів зсуву, частот електромагнітного поля та інших характеристик трансформаторних електромагнітних перетворювачів) від багатьох інформативних параметрів електролітичних рідин (до яких відносять зразки пивних стоків). Досліджено похибки вимірювань компонентів сигналів теплового трансформаторного електромагнітного перетворювача (ТЕТП), а також параметрів стічних вод: питомого електричного опору γ_λ , відносної діелектричної проникності ε_r та температури t зразків стоків кислого та лужного походження, а також усереднених пивних стоків. Визначення похибок сумісних вимірювань фізико-хімічних параметрів зразків пивних стоків, надає змогу встановлювати раціональні режими роботи теплових багатопараметрових електромагнітних перетворювачів, підвищити вірогідність контролю фізико-хімічних характеристик зразків стічних вод та суттєво підвищити якість управління процесами очищення пивних стоків за рахунок вибору раціональних методів очищення на основі даних отриманих інформативними вимірювальними методами.

Ключові слова: похибки вимірювань, багатопараметровий метод, параметри стічних вод, тепловий трансформаторний електромагнітний перетворювач, питома електрична провідність, відносна діелектрична проникність, густина, температура, діапазон, фізико-хімічні параметри.

YEVHENIIA PYROZHENKO

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»

VADIM SEBKO

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»

VALERIY ZDORENKO

National Technical University of Ukraine Kiev Polytechnic Institute

NATALIIA ZASHCHERKINA

National Technical University of Ukraine Kiev Polytechnic Institute

DETERMINING THE ERRORS OF SIMULTANEOUS MEASUREMENTS OF SPECIFIC ELECTRICAL CONDUCTIVITY χ_t , RELATIVE DIELECTRIC CONSTANT ε_r AND TEMPERATURE t OF BEER WASTE SAMPLES

Methods, techniques and algorithms related to estimating the errors of compatible measurements of the function of many variables, namely the transformation function, which is expressed by the dependence of the normalized characteristics of converters (normalized generalized characteristics, EMF, phase shift angles, electromagnetic field frequencies and other characteristics) transformer electromagnetic transducers) from many informative parameters of electrolytic liquids (which include samples of beer effluents). The measurement errors of the components of the signals of the thermal transformer electromagnetic converter (TTEC), as well as wastewater parameters: electrical resistivity γ_λ , relative dielectric constant ε_r and temperature t of samples of acidic and alkaline effluents, as well as average beer effluents were studied. Determining the errors of compatible measurements of physicochemical parameters of beer effluent samples allows to establish rational modes of operation of thermal multiparameter electromagnetic transducers, increase the probability of control of physicochemical characteristics of wastewater samples and significantly improve the quality of management of beer wastewater treatment processes. data obtained by informative measuring methods.

Keywords: measurement errors, multiparameter method, wastewater parameters, thermal transformer electromagnetic converter, specific electrical conductivity, relative dielectric constant, density, temperature, range, physicochemical parameters.

**Постановка проблеми у загальному вигляді
та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями**

На сьогодні, виникає необхідність проведення заходів щодо модернізації виробництв на сучасній технологічній основі за рахунок визначення вимог до стандартів навколишнього середовища і якості продукції. Всі ці завдання є найбільш актуальними для сучасної харчової та переробної промисловості. Міні-пивоварні на теперішній час існують практично в кожному, навіть невеличкому місті [1, 2], при цьому показники стічних вод міні-пивоварень практично не підлягають контролю відповідними інформативними методами стосовно кислотності та лужності та у більшості випадків не відповідають вимогам щодо запобігання забрудненню навколишнього природного середовища, які застосовують у міжнародній практиці [3-5]. Високий рівень споживання води під час виробництва пива обумовлює великий обсяг утворення стічних вод, які мають високу ступінь забрудненості і становлять небезпеку для навколишнього середовища. Вибір способу очищення пивних стоків, повинен залежати від фізико-хімічних властивостей зразків пива, а також необхідного ступеня очищення та споживання стічних вод [3-5]. Слід визначити, що найбільшу небезпеку для навколишнього середовища представляють стічні води, які утворюються при промиванні осадових пивних рідких дріжджів, скиданні в каналізацію табірних опадів і мийці технологічних ємностей, що використовуються на стадіях бродіння і доброджування пива. Зокрема для процесу виробництва пива характерні залпові викиди з коливанням концентрації і кількості стічних вод, тобто існує значні забруднення лужного лужного походження, які вимагають обов'язкового застосування усереднювача рН [1, 2]. Під час залпових викидів стічна вода збагачується відпрацьованими миючими та дезінфікуючими розчинами, тому показник рН може значно перевищувати чисельні значення нормативних показників. Звідси для вибору, розробки, експлуатації та впровадження раціональних способів очищення стічних вод продукції пивоваріння, виникає необхідність створення нових інформативних методів вимірювань параметрів зразків стічних вод. На сьогодні, відносно прості методи кондуктометрії та потенціометрії [6], застосовують для вимірювань відносної електричної провідності χ (питомого електричного опору λ) слабких електролітів до яких мають відношення у тому числі і харчові продукти: соки, вина, пиво, молоко, напої та зокрема водні розчини солей та кислот, емульсії, лужні розчини, а також зразки стічних вод харчових і переробних виробництв. Простота реалізації та дешевина методів кондуктометрії та потенціометрії для визначення питомої електричної провідності χ , надає змогу щодо застосування цих методів у якості контрольних при аналізі χ проб напівфабрикатів, готового продукту та зразків пивних стоків [6]. Однак, кондуктометричні та потенціометричні методи мають цілу низку недоліків, а саме чутливі до наявності домішок, особливо домішок кислотно-лужного характеру, у зв'язку з різкою відмінністю та рухливістю іонів кислотно-основного характеру, тобто різницею у рухливості іонів H^+ і OH^- у порівнянні з рухливістю інших іонів, оскільки електропровідність χ величина адитивна, то унаслідок застосування методів кондуктометрії та потенціометрії є можливим отримувати інформацію тільки щодо загальної концентрації іонів у розчині, тобто вимірювальний контроль питомої електропровідності χ та пов'язаної з нею мінералізації ТДС, концентрації C , в'язкості μ та рівня РН - значно ускладнюється [6]. Таким чином, є можливим стверджувати щодо малої селективності кондуктометричного та потенціометричного методів, яка призводить до виникнення значних похибок вимірювань χ та інших фізико-хімічних параметрів багатокомпонентних розчинів. Саме тому, при виборі первинного перетворювача для реалізації інформативного метода багатопараметрових вимірювань фізико-хімічних параметрів зразків пивних стоків, необхідно враховувати сумісне визначення кількох сполучених електричних величин, які еквівалентно впливають на чутливий елемент перетворювача [7]. Всім цим умовам відповідають електромагнітні (вихорострумові) методи вимірювального контролю, реалізація яких здійснюється на основі електромагнітних перетворювачів трансформаторного типу, котрі на виході дозволяють отримати вимірювальну інформацію, що включає до себе данні щодо ЕРС та фазового кута зсуву перетворювача зі зразком рідини, що контролюється [7, 8]. При цьому, отриману вимірювальну інформацію можна обробляти з високою точністю, перетворювати в інші фізичні величини, передавати на відстань та автоматизувати процес сумісних вимірювань у відповідності з командами комп'ютерної системи управління та контролю основних параметрів технологічних процесів очищення стічних вод [7-9].

Саме тому задля оцінювання стану та вибору раціональних способів очищення стічних вод виробництв пивоварної галузі, необхідно сумісне визначення відносної електричної провідності χ (питомого електричного опору λ), відносної діелектричної проникності ϵ_r та температури t , при цьому значення параметрів χ і ϵ_r , відрізняються за чисельними даними в залежності від кислого або лужного походження зразків пивних стоків. У зв'язку з цим виникає важлива наукова і практична проблема, яка полягає у створенні нових широкомежових методів сумісних вимірювань питомого електричного опору λ , відносної діелектричної проникності ϵ_r і температури t проб розчинів слабких електролітів (до яких відносять стічні води багатьох харчових виробництв). Слід зазначити, що визначення температури t до потрапляння стічних вод у відкриті водойми, має важливе самостійне значення в плані запобігання теплових забруднень природних та штучних водойм [3, 4].

На теперішній час є відсутнім загальний підхід щодо оцінювання похибок сумісних вимірювань фізико-хімічних параметрів стічних вод харчових виробництв, які відносять до слабких електролітичних

рідин. Потребують подальшого розвитку теоретичні положення, які пов'язано з оцінюванням похибок сумісних вимірювань функції багатьох змінних, тобто функції перетворення електромагнітного пристрою, яка виражена залежністю нормованих характеристик перетворювачів (ЕРС, фазових кутів зсуву, частот магнітного поля, опору обмоток та інших компонентів багатопараметрового сигналу) від багатьох параметрів об'єкту контролю (геометричних, електричних, температурних та ін.). На теперішній час, не відомі особливості роботи теплових вихорострумових пристроїв зі зразками слабких електролітичних рідин, не встановлено діапазони змінення сигналів теплових електромагнітних багатопараметрових перетворювачів, які відповідають межах змінення фізико-хімічних параметрів зразків стічних вод.

Формулювання цілей статті

Метою даної роботи є реалізація теоретичних і практичних положень загальної теорії похибок стосовно оцінювання похибок сумісних вимірювань питомого електричного опору λ , відносної діелектричної проникності ϵ_r та температури t кислих, лужних та усереднених зразків пивних стоків.

Для досягнення мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. Навести схему включення теплового ТЕТП і відповідні алгоритми реалізації трипараметрового електромагнітного метода сумісних вимірювань питомого електричного опору λ , відносної діелектричної проникності ϵ_r та температури t зразків пивних стоків.

2. Дослідити можливість застосування теоретичних положень загальної теорії похибок щодо сумісних вимірювань параметрів λ , ϵ_r і t зразків пивних стоків за рахунок перезадання співвідношень у вигляді близький до лінійного.

3. Отримати чисельні значення похибок вимірювань параметрів λ , ϵ_r і t зразків кислих, лужних та усереднених стічних вод.

Визначення похибок трипараметрових вимірювань зразків стічних вод

З урахуванням результатів наукових робіт на рис. 1 [7-16], наведено схему за допомогою якої здійснюється реалізація трипараметрового метода сумісних вимірювань питомого електричного опору λ , відносної діелектричної проникності ϵ_r та температури t зразків пивних стоків. Схема передбачає компенсацію проходження паразитного магнітного потоку Φ_1 , у повітряному проміжку поміж вимірювальною обмоткою ТЕТП та зразком, що контролюється [9, 10]. Схема включає до себе: джерело живлення змінного струму – ДЖ, вимірювач струму амперметр – А, вимірювач частоти – ВЧ, осцилограф – ОС, вимірювач ЕРС – В₂, зразковий опір – R₀, вимірювач фазового кута зсуву – ВФ, опорний електромагнітний перетворювач – ОП; вимірювач напруги ЕРС $E_0 - B_2$. У схему також входить компенсаційний електромагнітний перетворювач КЕП, при цьому РЕП, КЕП і ОЕП мають однакове число витків, радіуси первинних і вторинних обмоток та довжину [7-10].

Первинні котушки РЕП, КЕП і ОЕП увімкнуті послідовно-узгоджено, а вторинні РЕП і КЕП послідовно-зустрічно. КЕП призначено для повної компенсації ЕРС E_0 при відсутності у ньому зразка, що контролюється [7-10]. Схема передбачає також гріючий пристрій ГП задля зміни температури зразка – З. У якості контрольного методу вимірювань температури застосовують термопару хромель-алюмель (ТХА-К-200-1) [10-15]. Слід визначити, що радіальні зміщення скляної трубки не впливають на результати вимірювань, оскільки магнітне поле зразка є однорідним. Перекіси скляної трубки обмежуються каркасом ТТЕП. Перекіс скляної трубки в межах трьох відсотків практично не впливає на результати вимірювань фізико-хімічних параметрів зразка. Задля обмеження впливу на результати вимірювань сторонніх магнітних полів, необхідно виконати екранування перетворювача за рахунок розташовування ТТЕП у провідному корпусі [10-15]. Задля відстроювання ТТЕП від електричних полів необхідно уземлити корпус перетворювача та корпуса пристроїв, які містить схема включення [10-15].

Робота схеми, полягає у тому, що спочатку встановлюють контрольну точку на градувальній залежності фазового кута зсуву від узагальненого параметра A , $\varphi=f(A)$, тобто $A=A_1$ [9] (де A_1 – значення узагальненого параметра, яке відповідає початковій температурі зразка стічних вод t_0).

З'ясовано, що найбільша чутливість ТЕТП спостерігається у діапазоні $0,9227 \leq A \leq 1,0814$. Далі при температурі зразка стічних вод $t=t_0$ в схемі на рис.1, встановлюють за допомогою генератора спочатку довільну частоту струму I та вимірюють при цьому компоненти сигналів E_2 , E_0 і φ_2 ТТЕП. Після цього за допомогою залежності φ_2 від A , знаходять значення A . Якщо це значення потрапляє у діапазон $0,9227 \leq A \leq 1,0814$, у цьому випадку, залишають встановлену раніш частоту електромагнітного поля f , якщо отримане значення A не відповідає вказаному діапазону, змінюють частоту електромагнітного поля та виконують наведену вище процедуру, допоки доки знайдене значення A потрапить у досліджуваний діапазон. Далі піддають нагріванню зразок стічних вод до температури t з досліджуваного діапазону $t=[20...35^\circ\text{C}]$ та після цього вимірюють значення E_2 , E_0 і φ_2 та знаходять інформативний параметр A у відповідності з розглянутою вище процедурою.

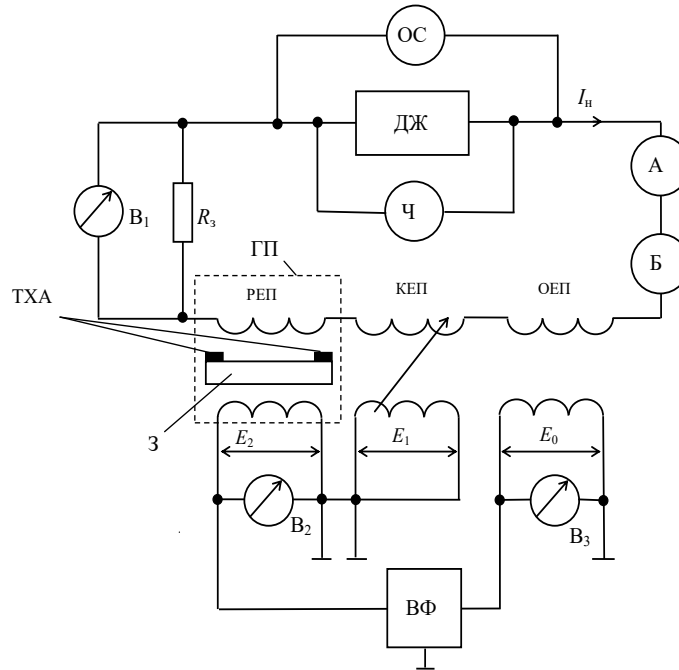


Рис. 1 Схема ТЕТП для реалізації трипараметрового електромагнітного метода сумісних вимірювань питомого електричного опору λ , відносної діелектричної проникності ϵ_r та температури t зразків пивних стоків

Питомий електричний опір λ зразка стічних вод, знаючи узагальнений параметр A_1 , знаходять за формулою

$$\lambda_t = \frac{a^2 \mu_0 2\pi f}{A_1^2}, \quad (1)$$

де a – радіус скляної трубки; μ_0 – магнітна стала; індекс «t» свідчить, про те що дана величина залежить від температури.

Далі застосовували формулу для визначення глибини проникнення магнітного поля δ у досліджуваний зразок, знаходять відносну діелектричну проникність ϵ_r зразка стічних вод

$$\delta = \omega \sqrt{\epsilon_1}, \quad (2)$$

де ϵ_1 – амплітудне значення діелектричної проникності ϵ_1 ; ω – циклічна частота. Звідси випливає

$$\sqrt{\epsilon_1} = \frac{\delta}{\omega}. \quad (3)$$

З урахуванням виразу (3), отримаємо

$$\epsilon_1 = \frac{2 \cdot \omega \cdot \lambda}{\mu_0}. \quad (4)$$

Для амплітудного значення діелектричної проникності ϵ_1 , маємо

$$\epsilon_1 = \frac{f \cdot \lambda}{10^{-8}}. \quad (5)$$

Формула для визначення відносної діелектричної проникності ϵ_r , має наступний вигляд

$$\epsilon_r = \frac{w \cdot \lambda_t}{4\pi \cdot 10^{-8} \cdot \epsilon_0}, \quad (6)$$

де ε_0 – електрична стала

Далі у формулі (6), необхідно ввести температурний коефіцієнт $J = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-8}$ [16], звідси маємо

$$\varepsilon_r = \frac{w \cdot \lambda_t}{J \cdot \varepsilon_0}. \quad (7)$$

Далі застосовуючи залежність питомого електричного опору λ від температури t , знаходимо температуру зразків пивних стоків

$$t = \frac{1}{\alpha} \cdot \left(\frac{A_t^2}{A_0^2} - 1 \right) + t_0 \quad (8)$$

Для визначення похибок сумісних вимірювань питомого електричного опору λ (питомої електричної провідності χ_t), відносної діелектричної проникності ε_r та температури t зразків пивних стоків, у відповідності з загальною теорією похибок, необхідно застосовувати методику визначення похибок для степеневі функції [17-22]. При цьому, спочатку необхідно представити вираз для визначення χ_t , у вигляді степеневі функції

$$\chi_t = A_t^2 \cdot \pi^{-1} \cdot \mu_0^{-1} \cdot f_t^{-1} \cdot 2 \cdot a^{-2} \quad (9)$$

Формула для визначення абсолютної похибки вимірювань γ_{χ_t} , має наступний вигляд

$$\gamma_{\chi_t} = 2 \cdot \gamma_{A_t} - \gamma_f - 4 \cdot \gamma_a, \quad (10)$$

де γ_A , γ_{f_0} , γ_a - похибки визначення узагальненого параметра A , частоти електромагнітного поля f ТЕТП та радіуса зразка стічних вод.

При довірчій вірогідності 0,95, у відповідності з державними нормативними документами [20-22], маємо

$$\gamma_{\chi_t} = 1,1 \sqrt{4 \cdot \gamma_{A_t}^2 + 16 \cdot \gamma_a^2 + \gamma_f^2} \quad (11)$$

Для визначення похибок вимірювань відносної діелектричної проникності ε_r , необхідно представити формулу (7) у вигляді степеневі функції, звідси

$$\gamma_{\varepsilon_r} = 2 \cdot \gamma_f - \gamma_{\chi} - \gamma_j - \gamma_{\varepsilon_0} \quad (12)$$

З урахуванням державних нормативних документів [20-22], похибку вимірювань відносної діелектричної проникності ε_r , визначають за формулою

$$\gamma_{\varepsilon_r} = 1,1 \sqrt{4 \cdot \gamma_f^2 + \gamma_{\chi}^2 + \gamma_j^2 + \gamma_{\varepsilon_0}^2} \quad (13)$$

Для визначення похибок вимірювань температури пивних стоків t у відповідності з правилом стосовно визначення похибки степеневі функції [20-22] та з урахуванням формули (8), формулу для визначення відносної похибки вимірювань температури $\delta t/t$, можна записати у вигляді

$$\frac{\delta t}{t} = -B_{\alpha} \frac{\delta \alpha}{\alpha} + B_{t_0} \frac{\delta t_0}{t_0} + B_{A_t} \frac{\delta A_t^2}{A_t^2} - B_{A_0} \frac{\delta A_0^2}{A_0^2}, \quad (14)$$

где $\delta\alpha/\alpha$, $\delta t_0/t_0$, $\delta A_t/A_t$, $\delta A_0/A_0$ – відносні похибки вимірювань параметрів α , t_0 , A_t і A_0 та відносні похибки коефіцієнтів впливу похибок аргументів функції багатьох змінних B_{α} , B_{t_0} , B_{A_t} , B_{A_0} .

Звідси у відповідності із державними нормативними документами [20-22], маємо

$$\frac{\delta t}{t} = 1,1 \sqrt{\left(B_{\alpha} \frac{\delta \alpha}{\alpha}\right)^2 + \left(B_{t_0} \frac{\delta t_0}{t_0}\right)^2 + \left(B_{A_0} \frac{\delta A_0}{A_0}\right)^2 + \left(B_{A_t} \frac{\delta A_t}{A_t}\right)^2} \quad (15)$$

Таким чином, на основі характеристик точності ТЕТП та наведених виразів, які описують реалізацію трипараметрового методу визначення похибок сумісних вимірювань питомого електричного опору λ (питомої електричної провідності χ_t), відносної діелектричної проникності ϵ_r та температури t зразків пивних стоків, наведено алгоритм визначення похибок сумісних вимірювань χ_{λ} , χ_{ϵ_r} і χ_t , в раціональних режимах роботи ТЕТП у температурному діапазоні $15 \leq t \leq 35$ °C.

В табл. 1.1-1.3, наведено результати визначення похибок вимірювань χ_{λ} , χ_{ϵ_r} і χ_t в досліджуваному температурному діапазоні $15 \leq t \leq 35$ °C для кислого, лужного та усередненого пивних стоків.

Аналіз даних табл. 1.1-1.3, свідчить про те що при зростанні температури похибки вимірювань χ_{λ} , χ_{ϵ_r} і χ_t фізико-хімічних параметрів під час наближення до верхньої межі температурного діапазону зменшуються приблизно на порядок, що свідчить про ефективність застосування електромагнітного методу сумісних трипараметрових вимірювань фізико-хімічних параметрів зразків пивних стоків для вибору раціонального методу очищення стічних вод різного хімічного складу.

Слід визначити, що зменшення похибок вимірювань, призводить до підвищення інструментальної складової вірогідності контролю D_b , разом з підвищенням методичної складової (яку пов'язано зі збільшенням параметрів сумісного контролю) при реалізації трипараметрового електромагнітного методу [19]. При цьому, загальну вірогідність контролю D_{Σ} , визначають як суму інструментальної та методичної складових [19]

$$D_{\Sigma} = D_B + D_M. \quad (16)$$

За допомогою методики наведеної в роботі [19], для запропонованого трипараметрового методу контролю питомого електричного опору λ , відносної діелектричної проникності ϵ_r і температури t значення загальної складової вірогідності контролю D_{Σ} , складає відповідно $D_{\Sigma} = 0,96$.

Таблиця 1.

Залежності похибок вимірювань χ_{λ} , χ_{ϵ_r} і χ_t від температури t (кислий сток)

t , °C	χ_t , %	χ_{ϵ_r} , %	χ_{λ} , %
15,18	1,2	0,31	1,13
16,93	-0,4	0,21	0,58
19,04	0,19	-0,07	0,09
20,98	-0,09	-0,12	-0,81
23,02	0,09	0,05	-0,42
24,98	0,08	0,03	0,54
27,03	0,04	0,02	0,34
29,02	0,07	-0,06	0,35
31,01	0,03	-0,03	-0,12
32,99	0,03	0,03	0,12

Слід визначити, що реалізація методів та алгоритмів визначення похибок сумісних вимірювань фізико-хімічних параметрів зразків пивних стоків, надає змогу встановлювати раціональні режими роботи ТЕТП, підвищити вірогідність контролю фізико-хімічних характеристик зразків стічних вод (за рахунок підвищення інструментальної складової вірогідності контролю) та суттєво підвищити якість управління процесами очищення пивних стоків в результаті вибору раціональних методів очищення на основі даних отриманих інформативними електромагнітними методами.

Таблиця 2

Залежності похибок вимірювань γ_{λ} , γ_{ϵ_r} і γ_t від температури t (лужний сток)

t , °C	γ_{λ} , %	γ_{ϵ_r} , %	γ_t , %
15,09	0,7	0,62	3,62
17,02	0,12	0,46	2,18
18,95	-0,26	0,38	2,09
21,06	0,26	0,37	-1,46
23,03	0,13	0,23	-1,31
24,97	-0,12	0,14	1,19
27,02	0,07	-0,09	0,87
29,01	0,05	0,07	0,71
30,98	-0,06	-0,03	0,56
33,02	0,06	0,04	0,38

Таблиця 3

Залежності похибок вимірювань γ_{λ} , γ_{ϵ_r} і γ_t від температури t (усереднений сок сток)

t , °C	γ_{λ} , %	γ_{ϵ_r} , %	γ_t , %
15,72	3,42	2,39	5,02
16,80	-1,19	-1,74	1,59
18,82	-0,95	-1,58	1,25
21,11	0,52	0,87	1,08
23,07	0,30	0,70	1,07
24,96	-0,16	0,54	0,89
27,04	0,16	0,38	-0,69
29,02	0,07	0,21	-0,73
31,01	0,03	0,13	0,49
33,01	0,03	0,07	0,25

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Таким чином, роботу присвячено визначенню основних шляхів розв'язання важливої науково-практичної проблеми, яка полягає у створенні нових широкомезових методів сумісних вимірювань питомого електричного опору λ , відносної діелектричної проникності ϵ_r і температури t проб розчинів слабких електролітів (до яких відносять стічні води пивних стоків). В рамках рішення цієї важливої проблеми досліджено теоретичні положення трипараметрового електромагнітного пристрою зі зразками кислих, лужних та усереднених стоків в діапазоні температур $15 \leq t \leq 35$ °C. Наведено схему включення теплового ТЕТП і відповідні алгоритми реалізації трипараметрового електромагнітного метода сумісних вимірювань питомого електричного опору λ , відносної діелектричної проникності ϵ_r і температури t зразків пивних стоків. Досліджено можливість застосовування теоретичних положень загальної теорії похибок щодо сумісних вимірювань параметрів λ , ϵ_r і t зразків пивних стоків за рахунок перезадання співвідношень у вигляді близьких до лінійного. Отримано чисельні значення похибок вимірювань параметрів λ , ϵ_r і t зразків кислих, лужних та усереднених стічних вод.

Слід визначити, що запропонована у статті методика оцінювання похибок сумісних вимірювань дозволяє знайти діапазони зміння компонентів сигналів безконтактних теплових ТЕТП, які відповідають межах зміння фізико-хімічних параметрів кислих, лужних та усереднених пивних стоків, надає змогу здійснювати вибір вимірювальної апаратури, а також встановлювати раціональні за похибками і чутливостями режими роботи теплових ТЕТП та автоматизованих пристроїв, які їх використовують.

Таким чином, результати які наведено у даній роботі, надають змогу щодо дослідження методики обробки даних при сумісних багатопараметрових електромагнітних вимірюваннях фізико-хімічних параметрів зразків кислих, лужних та усереднених пивних стоків на основі простих обчислювальних методів математичного аналізу та узагальнення результатів вимірювань питомого електричного опору λ , відносної діелектричної проникності ϵ_r і температури t .

Науковою новизною даної статті є те, що знайшла подальший розвиток загальна теорія оцінювання похибок сумісних електромагнітних вимірювань фізико-хімічних параметрів слабких електролітичних рідин різного походження (кислих, лужних та усереднених зразків пивних стоків, що досліджуються), за рахунок аналізу співвідношень, які описують характеристики точності трипараметрового електромагнітного пристрою.

Перспективи подальших досліджень полягають у підвищенні ефективності очищення стічних вод пивоварних підприємств на основі попереднього інформативного електромагнітного контролю нормативних параметрів зразків пивних стоків різного хімічного складу.

Література

1. Домарецький, В. А. Технологія солода та пива : підручник / В. А. Домарецький. Київ : Інкос, 2004. 426 с.
2. Домарецький, В. А. Стан і перспективи розвитку пивоварної промисловості України / В. А. Домарецький, І. В. Мельник. Харчова наука і технологія. Київ: НУХТ, 2010. № 3 (12). С. 7–9.
3. A.A. Werkneh, H.D. Beyene, A. Osunkunle, Recent advances in brewery wastewater treatment; approaches for water reuse and energy recovery: a review, *Environmental Sustainability* 2/2, 2019. 199-209.
4. S. Sultana, M.R. Choudhury, A.R. Bakr, N. Anwar, Md.S. Rahaman, Effectiveness of electro-oxidation and electro-Fenton processes in removal of organic matter from high-strength brewery wastewater, *Journal of Applied Electrochemistry* 48/5 (2018) 519-528.
5. A.K. Prajapati, P.K. Chaudhari, Physicochemical Treatment of Distillery Wastewater – A Review, *Chemical Engineering Communications* 202/8 (2015) 1098-1117.
6. Посудін Ю.І. Методи вимірювання параметрів навколишнього середовища [Текст] / Ю.І. Посудін. К.: Світ, 2003. 288 с.
7. Бабак В.П., Маєвський С.М., Щербак Л.М. Основи побудови систем аналізу сигналів у неруйнівному контролі: навч. посіб. Київ: Либідь, 1993. 194 с.
8. Троицкий В. А. Вихретоковый контроль. Учебн. пособие / В. А. Троицкий. Київ. «Феникс». 2011. С. 148.
9. Себко В.П., Себко В.В. Вихретоковые методы и преобразователи для определения температуры изделий и сред. *Вісник Харківського державного політехнічного університету*. Харків: ХДПУ, 1999. №24 С.10–16.
10. Тетерко А.Я. Метод формування інформаційного сигналу та підвищення точності вихреструмного контролю питомої електричної провідності матеріалу із виключенням впливу зазору / А.Я. Тетерко, Г.Г. Луценко, В.І. Гутник, О.А. Тетерко // Відбір і обробка інформації. Львів, 2016. – Вип. 43 (119). – С.5–11.
11. S. Majidnia, J. Rudlin, R. Nilavalan, Investigations on a pulsed eddy current system for flaw detection using an encircling coil on a steel pipe, *Insight: Non-Destructive Testing and Condition Monitoring* 56/10 (2014) 560-565.
12. V. Arjun, B. Sasi, B. Purna, C. Rao, C.K. Mukhopadhyay, T. Jayakumar, Optimisation of pulsed eddy current probe for detection of sub-surface defects in stainless steel plates, *Sensors and Actuators A: Physical* 226 (2015) 69-75.
13. D. Zhou, J. Wang, Y. He, D. Chen, K. Li, Influence of metallic shields on pulsed eddy current sensor for ferromagnetic materials defect detection, *Sensors and Actuators A: Physical* 248 (2016) 162-167.
14. Yong Lia, Bei Yana Wenjia, Lia Haoqing Jinga, Zhenmao Chena DaLib Pulse-modulation eddy current probes for imaging of external corrosion in nonmagnetic pipes *NDT & E International* Volume 88, June 2017, Pages 51-58.
15. Yong Lia, Bei Yana Wenjia, Lia Haoqing Jinga, Zhenmao Chena DaLib Pulse-modulation eddy current probes for imaging of external corrosion in nonmagnetic pipes. *Elsevier NDT & E International* Volume 88, June 2017, Pages 51-58.
16. Pyrozhenko Ye.V., Sebko V.V., Zdorenko V.G., Zashchepkina N.M., Markina O.M. Informative testing method of beer sewage samples for mini-breweries. *Journal of Materials Science and Engineering* 1 (106) (2020) P. 28-41
17. Стадник Б.І. Метрологія та вимірювання: навч. посіб. Львів: Львівська політехніка, 2012. 312 с.
18. Себко В.П., Багмет О.Л., Себко В.В. Математичні методи багатопараметрового контролю: навч. посіб. Харків: НТУ "ХПІ", 2011. 68 с.
19. Кучерук В. Ю., Кулаков П. І., Мостовий Д. В. Засіб вимірювання питомої електропровідності молока у молокоприймальній камері *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2017. № 1 С.7-14.
20. ДСТУ ISO/TS 21749:2013 Невизначеність вимірювання в метрологічній практиці. Повторні вимірювання та ієрархічні експерименти (ISO/TS 21749:2005, IDT)
21. ДСТУ ISO/IEC Guide 98-3:2018 Невизначеність вимірювань. Частина 3. Настанова щодо подання невизначеності у вимірюванні (GUM:1995) (ISO/IEC Guide 98-3:2008, IDT)
22. ДСТУ 9027:2020 Системи управління якістю. Настанови щодо входного контролю продукції 26.06.2020. чинний з 01.01.2021.-Київ, Технічний комітет стандартизації.

References

1. Domaretskyi, V. A. Tekhnolohiia soloda ta pyva : pidruchnyk / V. A. Domaretskyi. Kyiv : Inkos, 2004. 426 s.
2. Domaretskyi, V. A. Stan i perspektyvy rozvytku pyvovarnoi promyslovosti Ukrainy / V. A. Domaretskyi, I. V. Melnyk. Kharchova nauka i tekhnolohiia. Kyiv: NUKhT, 2010. № 3 (12). S. 7–9.
3. A.A. Werkneh, H.D. Beyene, A. Osunkunle, Recent advances in brewery wastewater treatment; approaches for water reuse and energy recovery: a review, *Environmental Sustainability* 2/2, 2019. 199-209.

4. S. Sultana, M.R. Choudhury, A.R. Bakr, N. Anwar, Md.S. Rahaman, Effectiveness of electro-oxidation and electro-Fenton processes in removal of organic matter from high-strength brewery wastewater, *Journal of Applied Electrochemistry* 48/5 (2018) 519-528.
5. A.K. Prajapati, P.K. Chaudhari, Physicochemical Treat-ment of Distillery Wastewater – A Review, *Chemical Engineering Communications* 202/8 (2015) 1098-1117.
6. Posudin Yu.I. Metody vymiruvannya parametriv navkolyshnoho seredovyscha [Tekst] / Yu.I. Posudin. K.: Svit, 2003. 288 s.
7. Babak V.P., Maievskyi S.M., Shcherbak L.M. Osnovy pobudovy system analizu syhnaliv u neruinivnomu kontroli: navch. posib. Kyiv: Lybid, 1993. 194 s.
8. Troitskyi V. A. Vykhetokovyyi kontrol. Uchebn. posoby / V. A. Troitskyi. Kyiv. «Fenyks». 2011. S. 148.
9. Sebko V.P., Sebko V.V. Vykhetokovyye metody y preobrazovately dlia opredeleniya temperatury yzdelyi y sred. Visnyk Kharkivskoho derzhavnoho politekhnichnoho universytetu. Kharkiv: KhDPU, 1999. №24 S.10–16.
10. Teterko A.Ia. Metod formuvannya informatsiinoho syhnalu ta pidvyshchennia tochnosti vykhrostrumovoho kontroliu pytomoi elektrychnoi providnosti materialu iz vykliuchenniam vplyvu zazoru / A.Ia. Teterko, H.H. Lutsenko, V.I. Hutnyk, O.A. Teterko // Vidbir i obrobka informatsii. Lviv, 2016. – Vyp. 43 (119). – S.5–11.
11. S. Majidnia, J. Rudlin, R. Nilavalan, Investigations on a pulsed eddy current system for flaw detection using an encircling coil on a steel pipe, *Insight: Non-Destructive Testing and Condition Monitoring* 56/10 (2014) 560-565.
12. V. Arjun, B. Sasi, B. Purna, C. Rao, C.K. Mukhopadhyay, T. Jayakumar, Optimisation of pulsed eddy current probe for detection of sub-surface defects in stainless steel plates, *Sensors and Actuators A: Physical* 226 (2015) 69-75.
13. D. Zhou, J. Wang, Y. He, D. Chen, K. Li, Influence of metallic shields on pulsed eddy current sensor for ferromagnetic materials defect detection, *Sensors and Actuators A: Physical* 248 (2016) 162-167.
14. Yong Lia, Bei Yana Wenjia, Lia Haoqing Jinga, Zhenmao Chena DaLib Pulse-modulation eddy current probes for imaging of external corrosion in nonmagnetic pipes *NDT & E International* Volume 88, June 2017, Pages 51-58.
15. Yong Lia, Bei Yana Wenjia, Lia Haoqing Jinga, Zhenmao Chena DaLib Pulse-modulation eddy current probes for imaging of external corrosion in nonmagnetic pipes. *Elsevier NDT & E International* Volume 88, June 2017, Pages 51-58.
16. Pyrozhenko Ye.V., Sebko V.V., Zdorenko V.G., Zashchepkina N.M., Markina O.M. Informative testing method of beer sewage samples for mini-breweries. *Journal of Materials Science and Engineering* 1 (106) (2020) P. 28-41
17. Stadnyk B.I. Metrolohiia ta vymiruvannya: navch. posib. Lviv: Lvivska politekhnika, 2012. 312 s.
18. Sebko V.P., Bahmet O.L., Sebko V.V. Matematychni metody bahatoparametrovoho kontroliu: navch. posib. Kharkiv: NTU «KhPI», 2011. 68 s.
19. Kucheruk V. Yu., Kulakov P. I., Mostovyi D. V. Zasib vymiruvannya pytomoi elektroprovidnosti moloka u molokopryimalnii kameri Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu. 2017. № 1 S.7-14.
20. DSTU ISO/TS 21749:2013 Nevyznachenist vymiruvannya v metrolohichnii praktytsi. Povtorni vymiruvannya ta hierarchichni eksperymenty (ISO/TS 21749:2005, IDT)
21. DSTU ISO/IEC Guide 98-3:2018 Nevyznachenist vymiruvannya. Chastyna 3. Nastanova shchodo podannia nevyznachenosti u vymiruvanni (GUM:1995) (ISO/IEC Guide 98-3:2008, IDT)
22. DSTU 9027:2020 Systemy upravlinnia yakistiu. Nastanovy shchodo vkhidnoho kontroliu produktsii 26.06.2020. chynnyi z 01.01.2021.-Kyiv, Tekhnichniy komitet standartyzatsii.