

ІНФОРМАТИВНИЙ МЕТОД КОНТРОЛЮ ЗРАЗКА ПИВНИХ СТОКІВ МІНІ-ПИВОВАРНІ

Пироженко Є.В., Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", аспірантка кафедри ХТПЕ, Україна

Abstract

The need to develop new effective methods and devices for informative control of physicochemical characteristics that determine the state of alkaline brewery waste water samples has been proven. Thanks to this, it is possible to simultaneously warn of the reasons for the deviation of samples of beer effluents from the specified indicators of environmental safety and to carry out measures that carry out the corresponding correction. Experimental studies have confirmed that thanks to the hardware methods associated with heating the sample in the process of control and compensation of the influence of the parasitic magnetic flux of the thermal non-contact eddy current converter, it becomes possible to control the electrical and temperature parameters of the studied samples by informative eddy current methods. In turn, determining the errors of compatible measurements of the signal components of eddy current converters makes it possible to establish rational modes of operation of converters with samples of weak electrolytic liquids under control.

Вступ

На сьогодні виникає необхідність проведення заходів щодо модернізації виробництв на сучасній технологічній основі за рахунок визначення вимог до стандартів навколишнього середовища і якості продукції (ДСТУ ISO 14001:2015, 2015; Abhinesh Kumar Prajapati & Parmesh Kumar Chaudhari, 2015; Wunderlich & Back, 2010). 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, при цьому вибір способу очищення повинен залежати від фізико-хімічних властивостей

стічних вод, а також необхідного ступеня очищення та споживання стічних вод. 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 значна нерівномірність лужного складу, що вимагає обов'язкового застосування усереднювача рН. 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 пристроїв та методів очищення стічних вод продукції пивоваріння (Adhena Ayaliew Werkneh, Hayelom Dargo Beylene & Abduljeleel A. Osunkunle, 2015) виникає необхідність створення нових інформативних методів контролю параметрів зразків стічних вод. На сьогодні відносно прості методи кондуктометрії та потенціометрії застосовують для вимірювань електропровідності 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, зразки стічних вод промислових виробництв, у тому числі і харчової промисловості (Majewski, 2010; Васілевський & Дідич, 2012). Простота реалізації та дешевина методів кондуктометрії та потенціометрії для визначення питомої електричної провідності λ надає змогу щодо застосування цих методів у якості контрольних при аналізі λ проб напівфабрикатів, готового продукту та зразків пивних стоків. Однак, кондуктометричні та потенціометричні методи мають цілу низку недоліків, а саме чутливі до наявності домішок, особливо домішок кислотно-лужного складу, у зв'язку з різкою відмінністю та рухливістю іонів кислотного-основного характеру, тобто різницею у рухливості іонів H^+ і OH^- у порівнянні з рухливістю інших іонів, оскільки електропровідність λ величина адитивна, то внаслідок застосування методів кондуктометрії та потенціометрії є можливим

отримувати інформацію тільки щодо загальної концентрації іонів у розчині, тобто вимірювальний контроль питомої електропровідності λ та пов'язаними з нею характеристиками відносної діелектричної проникності ϵ_r , температури t , мінералізації «ТДС» (Total Dissolved Solids), концентрації C та рівня рН – значно ускладнюється. Таким чином, є можливим стверджувати щодо малої селективності кондуктометричного та потенціометричного методів, яка призводить до виникнення значних похибок вимірювань λ та інших фізико-хімічних параметрів багатоконпонентних розчинів. Саме тому, при виборі первинного перетворювача інформативного контролю фізико-хімічних характеристик зразків пивних стоків, необхідно враховувати сумісне визначення кількох сполучених фізико-хімічних величин, які еквівалентно впливають на чутливий елемент перетворювача. Всім цим умовам відповідають електромагнітні (вихорострумові) методи вимірювального контролю, реалізація яких здійснюється на основі вихорострумових перетворювачів трансформаторного типу, котрі на виході дозволяють отримати вимірювальну інформацію, що включає в себе відомості про ЕРС та фазовий кут зсуву трансформаторного вихорострумового перетворювача зі зразком рідини, що контролюється. Отриману вимірювальну інформацію можна обробляти з високою точністю, перетворювати в інші фізичні величини, передавати на відстань та автоматизувати процес вимірювань корелюючих величин у відповідності з командами комп'ютерної системи контролю основних характеристик технологічних процесів очищення стічних вод (Себко & Себко, 1999).

Аналіз літературних даних та постановка проблеми

У загальному, випадку відходи пивоварної галузі сучасної промисловості являють собою залишки сировини рослинного походження, в основному, органічного складу. До вторинних сировинних ресурсів і відходів, які повинні бути видалені або утилізовані, відносяться: забруднені стічні води, що містять миючі та дезінфікуючі препарати, пивна і хмельова дробина, осад суспензій

гарячого сусла (білковий відстій), залишкові пивні дріжджі та ін. Стічні води утворюються також від миття технологічного обладнання, котлів для варіння сусла, бродильних чанів, від розливу пива та охолодження сусла і пива. Як правило, стічні води, які скидаються від міні-пивоварень міста в загальну міську каналізацію мають лужний склад (Sharmin, Mahbuboor, Ahmed, Nawrin & Md. Saifur, 2018; Chang, 2014; Angosto, Fernández-López & Godínez, 2015; Вашкурак, 2017; Максимів, 2007; Ковальчук, Ковальчук & Самелюк, 2010). Емульсії, які виникають в результаті потрапляння пивних стоків у міську каналізацію, а також штучні та відкриті водоймища, несприятливо можуть вплинути на мікроорганізми відкритих водойм. При цьому, для відкритих водоймищ також дуже важливо враховувати так звані теплові забруднення, які супроводжуються зменшенням вмісту кисню в воді, зміною її хімічного та газового складу, цвітінням води і збільшенням вмісту у воді мікроорганізмів, як наслідок теплових забруднень можуть привести до загибелі всієї екосистеми. Таким чином, в результаті антропогенного втручання відбуваються відхилення від норми важливих характеристик середовища, які відповідають нормам реакції мікроорганізмів на ці характеристики.

Таким чином, подальших досліджень потребує проблема моделювання екологічних ситуацій, пов'язаних з процесами урбанізації та руйнуванням природного середовища районів великих міст в яких розміщуються виробництва пивоварної галузі.

Саме тому для виконання моделювання екологічної ситуації та обирання способів очищення, необхідно сумісне визначення питомої електричної провідності λ , відносної діелектричної проникності ϵ_r і температури t та інших корелюючих з електричними та температурними параметрами фізико-хімічних величин, новими інформативними методами. Таким чином, у даній роботі пропонується визначення електричних та температурних параметрів зразків стічних вод трипараметровим вихорострумовим методом. Слід визначити також, що вимірювальний контроль температури має важливе самостійне значення, оскільки збільшення температури на сигналах первинного

перетворювача відображується результатом зростання числа домішок, або кількісного зростання забруднюючих часток у рідині за рахунок зростання електропровідності λ .

У роботах (Себко, Здоренко, Петухова & Минкова, 2015; Себко & Здоренко, 2016) запропоновано контактні електромагнітні методи сумісного вимірювального контролю електричних і температурних параметрів зразків карбонових кислот. Показано, що підвищення точності вимірювань температури зразків відбувається за рахунок розроблених алгоритмів вимірювальних та розрахункових процедур, які містять операції зі складовими компонентів сигналів теплових контактних електромагнітних перетворювачів. Однак слід зазначити, що в цих роботах не наведено шляхи встановлення оптимальних режимів роботи перетворювача зі зразками, що контролюються, не розглянуто безконтактні методи контролю зразків розчинів та слабких електролітів засновані на простих алгоритмах вимірювальних та розрахункових процедур, не розглянуто особливості контролю фізико-хімічних характеристик емульсій та суспензій, які утворюються внаслідок скиду відходів виробництв кислот та лугів, не наведено основні положення теорії похибок багатопараметрових вихорострумів вимірювань компонентів сигналів перетворювачів та фізико-хімічних характеристик об'єктів дослідження. Вочевидь, це пов'язано з тим, що є відсутнім загальний підхід відносно оцінювання похибок сумісних вимірювань електричних, температурних та інших корелюючих з ними фізико-хімічних параметрів зразків немагнітних електролітичних рідинних середовищ під час реалізації інформативних методів вимірювального контролю. Тобто відомі методики визначення систематичних похибок вимірювання функції багатьох змінних, які представляють собою залежності нормованих характеристик перетворювачів від важливих інформативних параметрів контролю зразків слабких електролітів (тобто у даному випадку зразків пивних стоків), потребують подальшого розвитку.

При цьому, до нормованих характеристик первинних теплових вихорострумів перетворювачів відносять ЕРС, фазовий кут зсуву φ , частоту

магнітного поля f , індуктивність L , електричний опір R , потокозчеплення ψ та інші компоненти сигналів вихорострумів перетворювачів, метрологічні характеристики яких, обумовлюють метрологічні характеристики автоматизованої системи контролю та управління технологічними процесами очищення в цілому (Себко та ін., 2015).

Тому є підстави вважати, що питання, які пов'язані з обиранням методу очищення, потребують створення нових багатопараметрових інформативних методів, у свою чергу, недостатня визначеність теоретичних положень роботи вихорострумів пристроїв та обмеження реалізації методів контролю електричних і температурних параметрів зразків слабких електролітів, обумовлюють необхідність проведення відповідних досліджень для досягнення високого ступеню очищення зразків пивних стоків за вказаними вище напрямками.

Ціль та задачі дослідження

Метою статті є дослідження теоретичних положень роботи теплового трансформаторного вихорострумів перетворювача (ТТП), під час здійснення підготовчих етапів екологічного моніторингу зразків стічних вод пивоварного виробництва на основі реалізації безконтактного трипараметрового методу вихорострумів сумісного контролю питомої електричної провідності λ_t , відносної діелектричної проникності ϵ_r та температури t зразка стоків продукції пивоваріння. Слід визначити, що завдяки цьому є можливим одночасно попереджати причини відхилення зразків пивних стоків від заданих показників екологічної безпеки й здійснювати заходи, виконуючі відповідне корегування.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

- дослідити можливість застосування теорії роботи трансформаторного теплового вихорострумів перетворювача (ТТП), стосовно реалізації інформативного (для подальшого екологічного моніторингу) трипараметрового метода контролю питомої електричної провідності λ_t відносної діелектричної проникності ϵ_r та температури t зразка пивних стоків міні-пивоварні;

- навести алгоритм моделювання процесу вимірювального контролю питомої електричної провідності λ_t , відносної діелектричної проникності ϵ_r та температури t зразка за допомогою ТТП;
- дослідити теоретичні положення оцінювання похибок сумісних вимірювань параметрів зразка пивних стоків при реалізації теплового багатопараметрового вихорострумowego методу для функцій багатьох змінних, які пов'язують компоненти сигналів вихорострумowego перетворювача з температурою t зразка досліджуваної рідини.

Досліджувані матеріали та обладнання, що використовувались в експерименті

Дослідження проводили з використанням трансформаторного теплового вихорострумowego перетворювача (ТТП) зі зразком стічних вод міні-пивоварні лужного складу. Експериментальні характеристики зразка скляної трубки або пробниці: радіус $a = 12 \cdot 10^{-3}$ м, довжина $l = 0,50$ м. Параметри ТТП були наступні: $f_1 = 82$ МГц, ЕРС теплового ТТП при відсутності зразка $E_0 = 87$ мВ, довжина намагнічувальної обмотки $l_H = 0,30$ м, радіус намагнічувальної обмотки $a_H = 14 \cdot 10^{-3}$ м.

Метод контролю електричних та температурних параметрів зразка стічних вод міні-пивоварні

Нижче досліджено метод та тепловий вихорострумований пристрій для сумісного інформативного контролю питомої електричної провідності λ_t , відносної діелектричної проникності ϵ_r та температури t зразка пивних стоків.

Формула для визначення дійсного значення ЕРС E_0 , тобто ЕРС ТТП при відсутності зразка рідини, має наступний вигляд:

$$E_0 = W_B \cdot a_{\Pi}^2 \cdot \mu_0 \cdot \frac{f \cdot l_H \cdot W_H}{l}, \quad (1)$$

де W_B – число витків вимірювальної обмотки; a_{Π} – радіус вихорострумowego перетворювача; μ_0 – магнітна стала, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м;

f – частота магнітного поля; I_n – намагнічувальний струм; W_n – число витків намагнічувальної обмотки; l – довжина перетворювача, яка дорівнює довжині скляної пробниці зі зразком рідини.

Далі для розширення меж вимірювань електричних та температурних характеристик зразка рідини, необхідно ввести питомий нормований параметр G_t (питомий нормований потік G_t у зразку), проходження якого, обумовлює виникнення різницевої ЕРС теплового ТТП ΔE_t , при цьому ЕРС ΔE_t , з урахуванням результатів робіт (Себко та ін., 1999, 2015, 2016), знаходять за формулою:

$$\Delta E_t = E_{\Sigma t} - (W_B \cdot a_{\Pi}^2 \cdot \mu_0 \cdot \frac{f \cdot I_n \cdot W_n}{l}), \quad (2)$$

де $E_{\Sigma t}$ – сумарна ЕРС теплового ТТП (індекс t свідчить, що досліджувана величина є температурозалежною).

Параметр G_t та фазовий кут зсуву $\Delta \varphi_t$ ЕРС теплового ТТП (фазовий кут зсуву поміж ЕРС E_0 та ЕРС ΔE_t), у загальному випадку, визначають за допомогою співвідношень:

$$G_t = \frac{\Delta E_t}{W_B \cdot a_{\Pi}^2 \cdot \mu_0 \cdot \frac{f \cdot I_n \cdot W_n}{l}}, \quad (3)$$

$$|\operatorname{tg} \varphi| = \frac{a_{\Pi}^2 \cdot \Delta E_t \cdot \sin \varphi_t}{a^2 \cdot E_0 - \Delta E_t \cdot \cos \varphi_t}, \quad (4)$$

де a_{Π} – радіус пробниці зі зразком, що контролюється.

Слід визначити, що при $a \approx a_{\Pi}$, формула для визначення комплексного параметра G_t , має наступний вигляд:

$$G_t = \frac{\Delta E_t}{E_0} = \frac{2}{A_t \sqrt{j}} \frac{I_1(A_t \sqrt{j})}{I_0(A_t \sqrt{j})}, \quad (5)$$

де A_t – термозалежний узагальнений параметр; I_1 і I_0 – модифіковані функції Бесселя першого роду, першого та нульового порядків; j – комплексне число.

Далі необхідно навести співвідношення, які пов'язують температуру t з характеристиками G_t і φ_t на фіксованій частоті магнітного поля f .

Знаходимо узагальнений параметр A_t , за залежністю $\Delta \varphi = f(A_t)$ та

визначаємо питому електропровідність λ_t , за формулою:

$$\lambda_t = \frac{A_t^2 \cdot E_0 \cdot G_t}{\mu_0 \cdot \alpha_{\Pi}^2 \cdot \Delta E_t \cdot \pi \cdot f^2}, \quad (6)$$

Відносну діелектричну проникність ε_r , визначаємо за формулою

$$\varepsilon_r = \frac{1}{2} \cdot \frac{f \cdot \lambda}{\varepsilon_0 \cdot 10^{-8}}, \quad (7)$$

де ε_0 – електрична стала, $\varepsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12}$ Ф/м.

З урахуванням залежності λ_t від температури t , в діапазоні від 15 до 50°C, маємо формулу для визначення температури зразка рідини, що контролюється:

$$t = \frac{1}{\alpha} \cdot \left(\frac{A_t^2 \cdot E_0 \cdot G_t}{\mu_0 \cdot \alpha_{\Pi}^2 \cdot \Delta E_t \cdot \pi \cdot f \cdot \lambda_1} - 1 \right) + t_1, \quad (8)$$

де α – температурний коефіцієнт опору зразка рідини.

Визначення похибок сумісних вимірювань фізико-хімічних параметрів зразків пивних стоків надає змогу встановлювати раціональні режими роботи теплових багатопараметрових вихорострумових перетворювачів, підвищити вірогідність контролю фізико-хімічних характеристик зразків рідин та у перспективі суттєво підвищити якість управління технологічними процесами очищення пивних стоків.

Для оцінки впливу температурної похибки при виміряних значеннях амплітудних, фазових і частотних компонентів сигналів ТЕТП необхідно скористатися градуювальними кривими, які виражають залежність компонентів сигналів ТЕТП від температури t .

Наприклад, для амплітудної складової, скориставшись градуювальною кривою, яка виражає собою залежність результуючої ЕРС від температури t досліджуваного зразка стічних вод, маємо (Себко та Себко, 1999):

$$E_{\Sigma} = f(t), \quad (9)$$

На підставі (1), з урахуванням результатів робіт (Себко та ін., 1999, 2015, 2016; Сидоренко, 2014), отримаємо вираз для розрахунку відносної похибки $\gamma E_{\Sigma} / E_{\Sigma}$:

$$\frac{\gamma E_{\Sigma}}{E_{\Sigma}} = \frac{dE_{\Sigma}}{dt} \frac{t}{E_{\Sigma}} \frac{\gamma t}{t}, \quad (10)$$

де $\frac{dE_{\Sigma}}{dt}$ – похідна за параметром t ; ця похідна, як і значення E_{Σ} і t в (10),

визначається в кожній точці градувальної кривої $E_{\Sigma} = f(t)$ ТТП із зразком

стічних вод; $\frac{\gamma}{t}$ – відносна похибка вимірювання температури t зразка стічних

вод. Похибку $\frac{\gamma}{t}$ можна визначити з виразу:

$$\frac{\gamma}{t} = \frac{1}{\frac{dE_{\Sigma}}{dt} E_{\Sigma}} \frac{\gamma E_{\Sigma}}{E_{\Sigma}} = \frac{1}{\frac{dE_{\Sigma}/E_{\Sigma}}{dt/t}} \frac{\gamma E_{\Sigma}}{E_{\Sigma}}, \quad (11)$$

При цьому величина роздільної здатності теплового ТТП із зразком стічних вод для амплітудної складової компонентів сигналів, з урахуванням (Себко та Себко, 1999), становить:

$$\frac{dE_{\Sigma}/E_{\Sigma}}{dt/t} = P_{E_{\Sigma}}^*, \quad (12)$$

звідси:

$$\frac{\delta t}{t} = \frac{1}{P_{E_{\Sigma}}^*} \frac{dE_{\Sigma}}{E_{\Sigma}}, \quad (13)$$

З урахуванням формули, що регламентується державними стандартами (Себко та ін., 1999, 2015, 2016; Сидоренко, 2014), результуючу температурну похибку з урахуванням вимірювання частотної складової компонентів сигналів ТТП при компенсації ЕРС E_0 знаходять:

$$\gamma_{t_{E_{\Sigma}}} = n_0 \cdot \sqrt{(B_{E_{\Sigma}} \gamma_{E_{\Sigma}})^2 + \gamma_{f_0}^2}, \quad (14)$$

де γ_{f_0} – відносна похибка вимірювання частоти, при початковій температурі $\gamma_{f_0} = (f - f_0)/f_0$, f_0 – частота електромагнітного поля, що відповідає температурі t_0 зразка стічних вод, $B_{E_{\Sigma}}$ – коефіцієнт впливу:

$$B_{E_{\Sigma}} = \frac{1}{P_{E_{\Sigma}}^*}, \quad (15)$$

Для визначення впливу температурної похибки на компоненти фазової складової сигналів ТТП (Себко та Себко, 1999) з урахуванням компенсації

частини паразитної складової ЕРС E_{Σ} , знаходимо похибку вимірювання температури t

$$\varphi = f(t), \quad (16)$$

звідси, з урахуванням (Себко та Себко, 1999), можна записати

$$\gamma_{t\varphi} = n_0 \cdot \sqrt{(B_{\varphi}\gamma_{\varphi})^2 + \gamma_{f_0}^2}, \quad (17)$$

де γ_{φ} – відносна похибка вимірювання кута φ ; B_{φ} – коефіцієнт впливу

$$B_{\varphi} = \frac{1}{P_{\varphi}^*}, \quad (18)$$

де P_{φ}^* – відносна чутливість фазового сигналу φ ТТП до температури t зразка стічних вод, яку з урахуванням (Себко та Себко, 1999), знаходять за формулою

$$P_{\varphi}^* = \frac{d\varphi/\varphi}{dt/t}, \quad (19)$$

Для визначення впливу температурної похибки на частоту f ТТП зі зразками стічних вод, застосовують отриману в роботах (Себко та Себко, 1999) залежність, яка виражає собою залежність частоти від температури досліджуваного зразка стічних вод, тобто:

$$f=f(t), \quad (20)$$

Тоді формулу для відносної похибки вимірювання температури можна записати, з урахуванням (Себко та Себко, 1999), як

$$\gamma_{tf} = n_0 \cdot \sqrt{(B_f\gamma_f)^2 + \gamma_{f_0}^2 + \gamma_{\varphi}^2}, \quad (21)$$

де γ_f – відносна похибка частоти поля за поточної температури зразка стічних вод; B_f – коефіцієнт впливу; γ_{f_0} – відносна похибка при початковій температурі.

$$B_f = \frac{1}{P_f^*}, \quad (22)$$

де P_f^* – відносна чутливість частотного сигналу ТТП до температури, з урахуванням (Себко та Себко, 1999), формула для визначення чутливості частотного сигналу ТЕТП, має такий вигляд

$$P_f^* = \frac{df/f}{dt/t}, \quad (23)$$

При цьому, якщо частотна градувальна крива ТЕТП із пробами стічних вод $f=f(t)$ визначена на підставі вимірювань, необхідно у формулах для розрахунку похибок ввести відносні похибки вимірювання температури теплового датчика, який використовується для нагрівання зразка стічних вод при імітації технологічного процесу виробництва пива. Наприклад, у разі використання ТХА для нагрівання зразків стічних вод безпосередньо у вимірювальній установці, маємо (Себко та ін., 1999, 2015, 2016; Сидоренко, 2014)

$$r = f(t), \quad (24)$$

У цьому випадку відносна похибка вимірювань, з урахуванням (Себко та Себко, 1999), матиме такий вигляд

$$\frac{\delta r_p}{t_p} = \frac{1}{P_r^*} \frac{\delta r}{r}, \quad (25)$$

Таким чином, при розрахунках температурної похибки, що впливає на амплітудні, фазові та змінно-частотні компоненти сигналів ТЕТП, з урахуванням похибки ТХА, маємо

$$\gamma_{t_{E_{\Sigma}}} = n_0 \cdot \sqrt{(B_{E_{\Sigma}} \gamma_{E_{\Sigma}})^2 + \gamma_{f_1}^2 + (B_r \gamma_r)^2}, \quad (26)$$

$$\gamma_{t_{\varphi}} = n_0 \cdot \sqrt{(B_{\varphi} \gamma_{\varphi})^2 + (B_r \gamma_r)^2 + \gamma_{f_1}^2}, \quad (27)$$

$$\gamma_{t_f} = n_0 \cdot \sqrt{(B_f \gamma_f)^2 + (B_r \gamma_r)^2 + \gamma_{f_1}^2 + \gamma_{\varphi}^2}, \quad (28)$$

З виразів (26) – (28) випливає, що температурна похибка найбільш істотно впливає на частотну складову багатокomпонентного сигналу електромагнітного перетворювача ТЕТП, оскільки у формулі (28) ми маємо чотири доданка. На

рис.1 наведено залежність похибки γ_t від температури t для зразка лужного стоку.

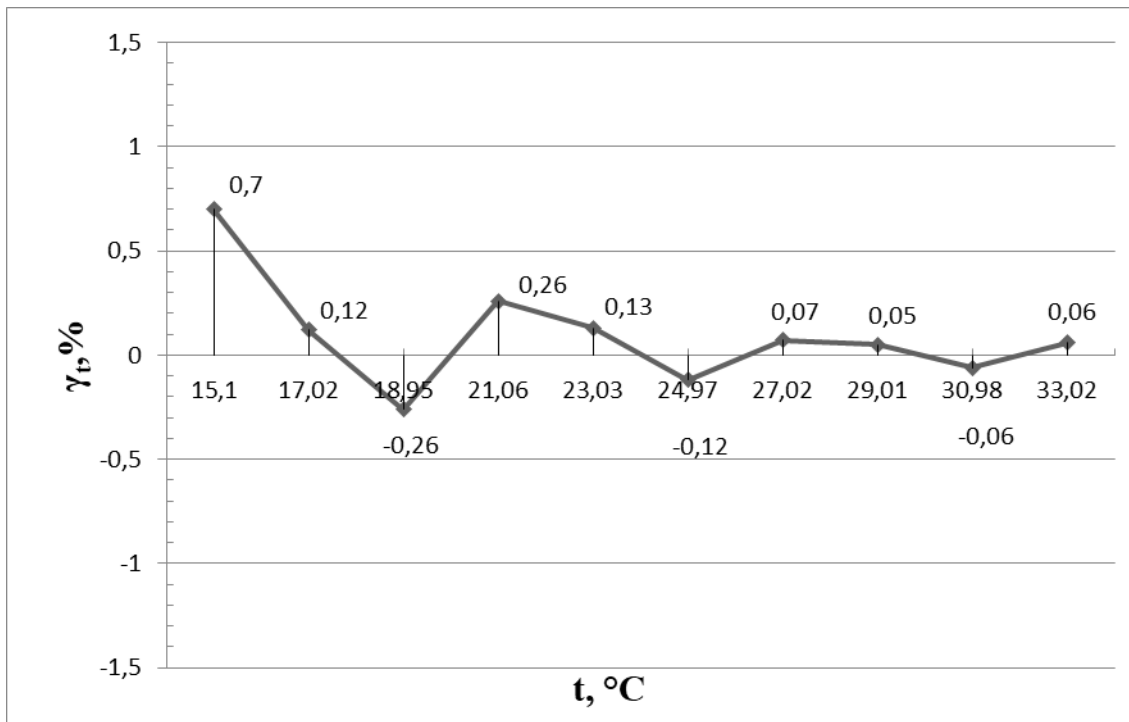


Рис.1. Залежність похибки γ_t від температури t для зразка лужного стоку

Таким чином, досліджено методики оцінювання температурної похибки γ_t зразків стічних вод, яка безпосередньо впливає на амплітудні, фазові та частотні компоненти сигналів перетворювача. Дану методику оцінювання похибок амплітудних, фазових та частотних компонентів сигналів розглянуто на основі моделі вимірювань: ТТП зразок стічних вод лужного складу.

З урахуванням схемних реалізацій методів вихорострумового неруйнівного контролю (Себко та ін., 1999, 2015, 2016), на рис. 2 надано схему теплового ТТП для сумісного визначення питомої електричної провідності λ_t відносної діелектричної проникності ϵ_t , та температури t зразка пивних стоків.

Слід відзначити, що для нагріву зразка у процесі контролю схема містить гріючий пристрій ГП. Схема ТТП передбачає два ідентичних електромагнітних перетворювача РП (робочій перетворювач) і ОП (опорний перетворювач). Намагнічувальні обмотки РП і ОП увімкнуті послідовно-узгоджено, а вимірювальні – безпосередньо до приладів схеми. Контрольним методом

вимірювання температури є термометри опору платинові ТОП, які закріплено безпосередньо до зразка.

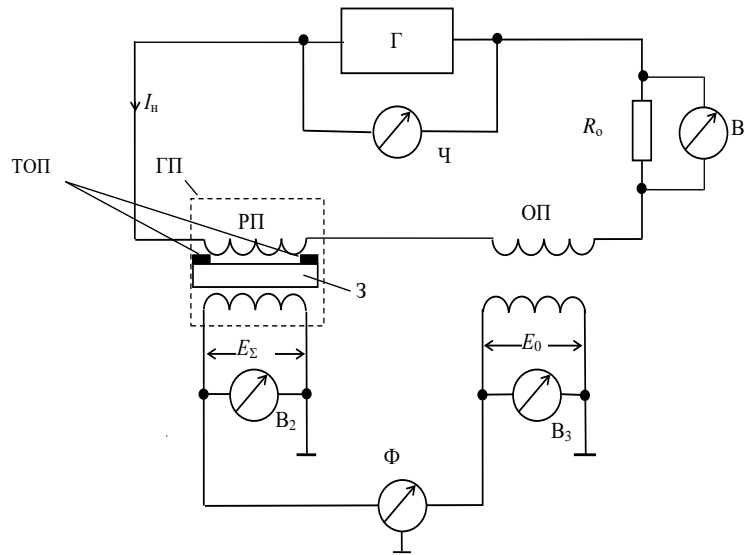


Рис.2. Схема включення теплового ТТІ зі зразком рідини, що контролюється

Слід відзначити, що схема на рис. 2, не передбачає компенсацію ефектів повітряного проміжку, при цьому вважають, що вимірювальну обмотку нанесено безпосередньо на зразок, що контролюється. Схема також містить генератор Г, частотомір Ч, вольтметри V_1 , V_2 і V_3 , зразковий опір R_0 , досліджуваний циліндричний зразок З, фазометр Ф. Вольтметр V_1 призначено для визначення намагнічувального струму I_n (відповідно до закону Ома). Під час роботи схеми за допомогою вольтметра V_2 вимірюємо ЕРС E_Σ при наявності зразка в РП, за допомогою вольтметра V_3 вимірюємо ЕРС E_0 (при відсутності зразка). Фазовий кут зсуву φ_0 (між ЕРС E_0 та E_Σ) визначаємо за допомогою фазометра Ф. Таким чином, досліджується математична модель системи ТТІ – зразок стічних вод (параметри якої: питома електрична провідність λ_t відносна діелектрична проникність ϵ_r та температура t зразка пивних стоків).

Результати вимірювань питомої електричної провідності λ_t відносної діелектричної проникності ϵ_r , та температури t зразка пивних стоків

| $t', ^\circ\text{C}$ | x_t | G_t | $\Delta\varphi_t$, град | $\lambda_t \cdot 10^{-1}$, См/м | $t, ^\circ\text{C}$ | $\lambda_t' \cdot 10^{-1}$, См/м | $\gamma_{\lambda t, \%}$ | $\gamma_t, \%$ |
|----------------------|----------|-------------|-----------------------------|-------------------------------------|---------------------|--------------------------------------|--------------------------|----------------|
| 15 | 0,922662 | 0,105358 | -81,925271 | 14,99 | 15,53 | 15,28 | -1,89 | 3,53 |
| 17 | 0,938131 | 0,111348 | -81,658561 | 15,78 | 17,45 | 15,47 | 2,00 | 2,58 |
| 19 | 0,953336 | 0,112263 | -81,449979 | 16,32 | 18,78 | 16,00 | 2,00 | -1,17 |
| 21 | 0,968307 | 0,115770 | -81,121387 | 16,51 | 20,80 | 16,80 | -1,73 | -0,96 |
| 22 | 0,983062 | 0,119227 | -80,854115 | 17,02 | 21,87 | 17,33 | -1,79 | -0,59 |
| 24 | 0,997562 | 0,122623 | -80,591589 | 17,52 | 24,18 | 17,82 | -1,68 | 0,74 |
| 26 | 1,011904 | 0,1349410,1 | -80,321981 | 18,33 | 26,10 | 18,03 | 1,66 | 0,38 |
| 28 | 1,026013 | 0,1295453 | -80,055172 | 18,82 | 28,05 | 18,54 | 1,51 | 0,17 |
| 30 | 1,039902 | 0,132939 | -79,792073 | 19,04 | 30,03 | 19,31 | -1,39 | 0,13 |
| 32 | 1,053700 | 0,136345 | -79,527958 | 19,55 | 31,95 | 19,81 | -1,33 | -0,156 |
| 34 | 1,067321 | 0,139793 | -79,259848 | 20,06 | 33,98 | 20,33 | -1,32 | -0,03 |
| 36 | 1,081486 | 0,1432682 | -78,989766 | 20,56 | 35,98 | 20,83 | -1,29 | -0,06 |
| 38 | 1,093916 | 0,1465391 | -78,735455 | 21,33 | 38,03 | 21,07 | 1,23 | 0,08 |
| 40 | 1,106951 | 0,149897 | -78,473957 | 21,84 | 40,02 | 21,58 | 1,20 | 0,05 |
| 42 | 1,119923 | 0,153308 | -78,207847 | 22,34 | 41,98 | 22,08 | 1,18 | -0,05 |
| 44 | 1,132651 | 0,1566669 | -77,945831 | 22,85 | 43,99 | 22,59 | 1,15 | -0,02 |

Висновки

Запропоновано новий інформативний трипараметровий метод контролю питомої електричної провідності λ_t , відносної діелектричної проникності ϵ_r та температури t зразка пивних стоків лужного складу, отримано основні співвідношення, які описують теоретичні положення реалізації трипараметрового методу контролю. Слід визначити, що введення питомих нормованих характеристик первинного перетворювача дозволяє пов'язувати сигнали ТПП з фізико-хімічними параметрами зразка стічних вод. Наведено алгоритми вимірювального контролю питомої електричної провідності λ_t ,

відносної діелектричної проникності ϵ_r та температури t зразка стічних вод, розроблено алгоритми вимірювальних і розрахункових процедур нормованих характеристик теплового ТТП. Досліджено теоретичні положення оцінювання впливу температурної похибки зразка на компоненти сигналів ТТП за рахунок імітації нагрівання зразка у процесі контролю. Слід визначити, що отримані співвідношення, які описують універсальні функції перетворення, алгоритми вимірювальних та розрахункових операцій електричних та температурних характеристик зразка, а також компонентів сигналів первинного теплового перетворювача, отримані вирази для визначення похибок сумісних багатопараметрових вимірювань компонентів сигналів ТТП – надають змогу щодо певних етапів моделювання екологічної ситуації, які пов'язано з процесами урбанізації та руйнуванням природного середовища районів великих міст, в котрих розміщуються виробництва пивоварної галузі. Надають змогу щодо визначення походження стічних вод відповідних підприємств за фізико-хімічними характеристиками, що контролюються й дозволяють приймати рішення щодо застосування заходів регулювання за походженням відходів за рахунок технологій підготування води, сприяють введенню технологічних операцій, пов'язаних зі способами та засобами очищення пивних стоків, дозволяють надавати рекомендації за витратами води та сировини призначеної для виготовлення готового продукту.

Метою статті є дослідження теоретичних положень роботи теплового трансформаторного вихорострумowego перетворювача (ТТП), під час здійснення підготовчих етапів екологічного моніторингу зразків стічних вод пивоварного виробництва на основі реалізації безконтактного трипараметрового методу вихорострумowego сумісного контролю питомої електричної провідності λ_t , відносної діелектричної проникності ϵ_r та температури t зразка стічних вод.

Підхід: знайшла подальший розвиток теорія роботи ТТП стосовно контролю електричних та температурних характеристик зразків пивних стоків за рахунок введення універсальних функцій перетворення $G_t=f(\Delta\varphi)$ і $\Delta\varphi=f(x_t)$, які пов'язують нормовані різницеві компоненти сигналів перетворювача з фізико-

хімічними характеристиками зразка. Завдяки цьому є можливим одночасно попереджати причини відхилення зразків пивних стоків від заданих показників екологічної безпеки й здійснювати заходи, виконуючі відповідне корегування.

Результати: розроблено метод трипараметрового вимірювального контролю питомої електричної провідності λ_t , відносної діелектричної проникності ϵ_r та температури t зразка стічних вод зразка стоків продукції пивоваріння.

Дослідницькі обмеження: діапазон частот магнітного поля $f = 80-100$ МГц, досить складно підтримувати у лабораторних умовах, тому запропонований метод є досить недешевим та потребує застосування сучасної високочастотної апаратури, радіус пробниці залежить від радіусу каркаса первинного перетворювача, тому досить складно підібрати ємність, яка відповідає існуючим стандартам.

Практичне значення: полягає у визначенні характеру пивних стоків на основі результатів вимірювань фізико-хімічних параметрів зразка при реалізації трипараметрового вихорострумowego методу, що надає змогу попереджати причини відхилення зразків пивних стоків від заданих показників екологічної безпеки й здійснювати заходи, виконуючі відповідне корегування. Важливим практичним результатом є також визначення компонентів сигналів та нормованих характеристик первинного вихорострумowego перетворювача зі зразком пивних стоків, що надає змогу розраховувати, конструювати та створювати багатопараметрові автоматизовані пристрої вимірювального контролю фізико-хімічних параметрів зразків пивних стоків. У свою чергу, в результаті підвищення точності вимірювань фізико-хімічних параметрів виникає можливість удосконалення та створення перспективних методів очищення стічних вод на електролітичній основі.

Оригінальністю статті є дослідження теоретичних положень роботи теплового ТТП за рахунок реалізації нового багатопараметрового вихорострумowego методу вимірювального контролю питомої електричної провідності λ_t , відносної діелектричної проникності ϵ_r та температури t зразка

стічних вод на основі введення універсальних функцій перетворення $G_t=f(\Delta\varphi)$ і $\Delta\varphi =f(x_t)$, які пов'язують сигнали перетворювача з фізико-хімічними характеристиками зразка пивних стоків, що надає змогу попереджати причини відхилення зразків пивних стоків від заданих показників екологічної безпеки й здійснювати заходи, виконуючі відповідне корегування.

Перспективи подальших досліджень полягають у здійсненні екологічного моніторингу при визначенні характеру зразка пивних стоків на основі реалізації багатопараметрових вихорострумових методів контролю фізико-хімічних параметрів зразка, вимірювальному контролю характеристик електропровідності λ , загального солемісту TDS та рівня рН при різних температурах зразків пивних стоків одним і тим же вихорострумовим перетворювачем у визначеній зоні контролю, а також у обиранні перспективних методів очищення на основі реалізації інформативних вихорострумових методів.

Список літератури

- Abhinesh Kumar Prajapati, & Parmesh Kumar Chaudhari. (2015). Physicochemical Treatment of Distillery Wastewater-A Review. *Chemical Engineering Communications*, 202(8), 1098-1117. doi: 10.1080/00986445.2014.1002560.
- Adhena Ayaliew Werkneh, Hayelom Dargo Beyene, & Abduljeleel A. Osunkunle. (2015). Recent advances in brewery wastewater treatment; approaches for water reuse and energy recovery: a review. *Environmental Sustainability*, 2(2), 199-209. doi: 10.1007/s42398-019-00056-2.
- Angosto, M., Fernández-López, J. A., & Godínez, C. (2015) Brewery and liquid manure wastewaters as potential feedstocks for microbial fuel cells: a performance study. *Environmental Technology*, 36(1), 68-78. doi: 10.1080/09593330.2014.937769.
- Chang, S. (2014). Anaerobic Membrane Bioreactors (AnMBR) for Waste water Treatment. *Chemical Engineering and Science*, 56-61.

- Majewski, J., Malacziwskyj, P., Yatsuk, V., Stolyarczuk, P., & Michalewa, M. (2010). Zastosowanie sensor w pojemno ciowych do szybkiej kontroli parametr wroztwor w wielosk adnikowych. *Przegl d Elektrotechniczny*, 10, 92-95.
- Sasha Wunderlich, & Werner Back. (2010). *Beer in Health and Disease Prevention*. Freising-Weihenstephan, Germany. doi: 10.1016/B978-0-12-373891-2.00001-8
- Sharmin Sultana, Mahbuboor Rahman Choudhury, Ahmed Refaat Bakr, Nawrin Anwar, & Md. Saifur Rahaman. (2018). Effectiveness of electro-oxidation and electro-Fenton processes in removal of organic matter from high-strength brewery wastewater. *Journal of Applied Electrochemistry*, 48(5), 519-528. doi: 10.1007/s10800-018-1185-3.
- Васілевський, О. М., & Дідич, В. М. (2012). *Елементи теорії побудови потенціометричних засобів вимірювального контролю активності іонів з підвищеною вірогідністю*. Монографія. Вінниця : Вінницький національний технічний університет, 170.
- Вашкурак, У. Ю., Фалик, Т. С., Шевчук, Л. І., & Коваль, І. З. (2017). Використання кавітаційних технологій для очищення стічних вод пивоварні. *Вісник НУ «Львівська політехніка» : Хімія, технологія речовин та їх застосування*, 868, 267-273.
- ДСТУ ISO 14001:2015. (2016). *Системи екологічного управління. (ISO 14001:2015, IDT)*. [Чинний від 2015-12-21]. Київ. (Вимоги та настанови щодо застосування).
- Ковальчук, В. А., Ковальчук, О. В., & Самелюк, В. І. (2010). Біотехнологія очистки стічних вод підприємств харчової промисловості. *Коммунальное хозяйство городов: науч.-техн. сб. К.: Технік*, 93, 182-187.
- Максимів, Н. Л., Старчевський, В. Л., Коваль, І. З., & Фалик, Т. С. (2007). Особливості окиснювальних процесів під час кавітаційного очищення води від хімічних і біологічних забруднень. *Вісник НУ «Львівська політехніка» : Хімія, технологія речовин та їх застосування*, 590, 270-274.

- Себко, В. В., & Здоренко, В. Г. (2016). Метод неруйнівного контролю зразка водного розчину адипінової кислоти. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну*, 1(94), 121-127.
- Себко, В. В., Здоренко, В. Г., Петухова, Е. О., & Минкова, А. К. (2015). Автоматизація вимірювального контролю температури проби харчового барвника. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну*, 4(88), 49-57.
- Себко, В. П., & Себко, В. В. (1999). Вихретоковые методы и преобразователя для определения температуры изделий и сред. *Вісник харківського державного політехнічного університету (ХГПУ)*, 24, 10-16.
- Сидоренко, Ю. В. (2014). Параметрична інтерполяційна функція Гауса. *Комп'ютерне моделювання в хімії і технологіях та системах сталого розвитку: зб. матеріалів IV Міжнародної науково-практичної конференції* (рр. 67-73). Київ : НТУУ «КПІ».