

Є. В. ПИРОЖЕНКО, В. В. СЕБКО, В. М. БАБЕНКО

ИНДУКТИВНИЙ ПАРАМЕТРИЧНИЙ ВИХОРОСТРУМОВИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ (ІПВП) ДЛЯ ВИМІРЮВАНЬ ЕЛЕКТРИЧНИХ ТА ТЕМПЕРАТУРНИХ ПАРАМЕТРІВ СТІЧНИХ ВОД ПИВОВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА

Досліджено можливість застосування теорії роботи індуктивного параметричного вихорострумowego перетворювача (ІПВП) стосовно вимірювань електричних та температурних параметрів зразка стічних вод кислого та лужного походження. Доведена необхідність розробки нових інформативних методів вимірювань фізико-хімічних параметрів стічних вод, за рахунок реалізації яких здійснюється вибір перспективного методу очищення. На основі диференціальної схеми включення двох параметричних перетворювачів: зі зразковою очищеною водою та перетворювачем, який містить пробницю зі зразком стічної води пивоварного виробництва, запропоновано диференціальний інформативний метод вимірювань електричних та температурних параметрів досліджуваної рідини, заснований на аналізі компонентів різницевого сигналу фазових кутів зсуву поміж вимірними електричними компонентами сигналів схеми включення. Наведено основні співвідношення, які описують роботу ІПВП з пробною рідиною, що контролюється. Розглянуто схему включення диференціального ІПВП зі зразком рідини, який розташований у скляній пробниці, диференціальна схема передбачає нагрівання зразка у процесі вимірювань задля імітації виробничих умов пивоварного виробництва. Наведено універсальні функції перетворення, які пов'язують компоненти сигналів ІПВП з питомою електричною провідністю χ_b та температурою t зразка стічних вод пивоварного підприємства, тобто залежність різницевого фазового сигналу $\Delta\varphi$ від узагальненого параметра A та залежність абсолютного прирощення питомої електричної провідності $\Delta\chi$ від температури t зразка стічних вод у досліджуваному температурному діапазоні.

Ключові слова: продукція пивоваріння, стічні води, засоби вимірювань, диференціальний параметричний перетворювач, індуктивні параметричні вихорострумові методи, різницевий сигнал, температурний діапазон, фазовий кут зсуву, зразкова проба, фізико-хімічні параметри, випробний зразок рідини.

Е. В. ПИРОЖЕНКО, В. В. СЕБКО, В. М. БАБЕНКО

ИНДУКТИВНЫЙ ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ ВИХРЕТОКОВЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ (ИПВП) ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПАРАМЕТРОВ СТОЧНЫХ ВОД ПИВОВАРЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Исследована возможность использования теории работы дифференциального индуктивного параметрического вихретокового преобразователя (ИПВП) для измерений электрических и температурных параметров образца сточных вод кислого и щелочного происхождения. Доказана необходимость разработки новых информативных методов измерений физико-химических параметров сточных вод, при реализации которых осуществляется выбор перспективного метода очистки. На основе дифференциальной схемы включения двух параметрических преобразователей: с образцовой очищенной водой и преобразователем, в котором размещается пробирка с образцом сточной воды пивоваренного производства, предложен дифференциальный информативный метод измерений электрических и температурных параметров исследуемой жидкости, который основан на анализе компонентов разностного сигнала фазовых углов сдвига между измеренными электрическими компонентами сигналов схемы включения. Приведены основные соотношения, которые описывают работу ИПВП с пробой контролируемой жидкости. Рассмотрена схема включения дифференциального ИПВП с образцом жидкости, который размещается в стеклянной пробирке, дифференциальная схема предусматривает нагрев образца в процессе измерений для имитации производственных условий пивоваренного производства. Приведены универсальные функции преобразования, которые связывают компоненты сигналов ИПВП с удельной электрической проводимостью χ_n и температурой t образца сточных вод предприятия пивоварения, то есть зависимость разностного фазового сигнала $\Delta\varphi$ от обобщенного параметра A и зависимость абсолютного приращения удельной электрической проводимости $\Delta\chi$ от температуры t образца сточных вод в исследуемом температурном диапазоне.

Ключевые слова: продукция пивоварения, сточные воды, средства измерений, дифференциальный параметрический преобразователь, разностный сигнал, температурный диапазон, фазовый угол сдвига, образцовая проба, физико-химические параметры, испытываемый образец жидкости.

E. V. PIROZHENKO, V. V. SEBKO, V. M. BABENKO

INDUCTIVE PARAMETRIC EDDY-CURRENT TRANSDUCER (IPEP) FOR MEASURING ELECTRICAL AND TEMPERATURE PARAMETERS OF WASTEWATER FROM BREWING PRODUCTION

The possibility of using the theory of operation of a differential inductive parametric eddy-current transducer (IPEP) for measuring the electrical and temperature parameters of a sample of acidic and alkaline wastewater is investigated. The need for the development of new informative methods for

© Є. В. Пироженко, В. В. Себко, В. М. Бабенко, 2021

measuring the physicochemical parameters of wastewater is proved, in the realization of which a promising method of purification is selected. On the basis of a differential scheme for switching on two parametric converters: with exemplary purified water and a converter in which a test tube with a sample of waste water from a brewing production is placed, a differential informative method for measuring the electrical and temperature parameters of the liquid under study is proposed, which is based on the analysis of the components of the difference signal of phase shift angles measured electrical components of the switching circuit signals. The basic relationships that describe the operation of the IPET with the sample of the controlled liquid are given. The scheme of switching on differential IPET with a liquid sample, which is placed in a glass test tube, is considered; the differential scheme provides for heating the sample during measurements to simulate the production conditions of brewing production. Universal transformation functions are given that relate the components of the IPET signals with the specific electrical conductivity $\chi_{e.s.}$ and the temperature t of the wastewater sample from brewing production, that is, the dependence of the phase difference signal $\Delta\varphi$ on the generalized parameter A and the dependence of the absolute increment in the specific electrical conductivity $\Delta\chi$ on the temperature t of the wastewater sample, in the investigated temperature range.

Keywords: brewing products, waste water, measuring instruments, differential parametric transducer, differential signal, temperature range, phase shift angle, exemplary sample, physicochemical parameters, tested liquid sample.

На сьогодні, до найбільш розвинутих галузей сучасної промисловості слід віднести галузі харчових та переробних виробництв, які пов'язано з виготовленням пива, соків, сухих та кріплених він, виноматеріалів зі свіжим, концентрованим чи спиртованим суслом, слабоалкогольних напоїв, при цьому значних темпів в Україні досягає саме продукція пивоваріння. Для подальшого вибору перспективного методу очищення стічних вод міні-пивоварень, які скидаються у міську каналізацію, важливий теоретичний та практичний інтерес мають методи та засоби вимірювання фізико-хімічних параметрів стічних вод харчових виробництв [1-3]. Слід визначити, що особливої увагу дослідники приділяють тим методам та пристроям за допомогою яких є можливим отримати компоненти вихідного сигналу у вигляді електричних характеристик, які надають змогу щодо подальшого перетворення сигналів вимірювальних пристроїв у інформативні фізико-хімічні параметри зразків рідин для оцінювання стану стічних вод пивоварної галузі і подальшого очищення та скиду у штучні та відкриті водойми або у міську каналізацію у відповідності з нормативними документами. При цьому, основними показниками нормативних документів на стічні води харчових виробництв є температура t , питома електрична провідність χ , водневий показник рН, характеристики мінералізації ТДС і загальної жорсткості dGH, які корелюють з температурними та електричними параметрами [4-6]. Зокрема за рахунок застосування та розробки інформаційних методів, приладів та систем вимірювань виникає можливість щодо одночасного визначення наслідків відхилення характеристик стічних вод від вимог нормативних документів і санітарних інструкцій задля виконання заходів щодо очищення стічних вод.

Слід визначити, що на теперішній час, актуальними є дослідження можливості вимірювань фізико-хімічних параметрів стічних вод харчових виробництв індуктивними вихорострумовими перетворювачами [6-16]. Незважаючи на те, що для вимірювань

фізико-хімічних параметрів рідинних середовищ індуктивні параметричні вихорострумові перетворювачі (ІПВП) не достатньо були розглянуті в існуючій літературі [15, 16], до основних переваг цих пристроїв слід віднести простоту функцій перетворення та схемних рішень, можливість автоматизації процесу вимірювань (готового продукту, напівфабрикату та проб стічних вод).

Причому, при розгляді існуючих вихорострумових методів та пристроїв, сучасні дослідники особливо увагу приділяють диференціальним перетворювачам та методам вимірювань фізико-хімічних характеристик досліджуваних об'єктів. Саме диференціальний метод під час вимірювань фізико-хімічних параметрів стічних вод, надає змогу застосовувати три рівняння, кожне з котрих залежить від характеристик зразка рідини, що контролюється, тобто у даному випадку від геометричних параметрів скляної трубки (діаметру d та довжини l), питомої електричної провідності зразка рідини χ та температури t [15, 16]. Слід визначити, що стосовно точності вимірювань характеристик рідинних зразків, застосування диференціальних методів також рекомендується у випадках відносної близькості отриманих результатів вимірювань параметрів випробного зразка та зразкової проби рідини. При існуючій наявності жорстких умов скидання стічних вод у каналізацію, штучні водойми та відкриті водойми господарського призначення, виникає необхідність контролю зразків стічних вод задля відповідності санітарним правилам і нормативним документам та внаслідок цього є необхідним забезпечення достатньо високої точності вимірювань інформаційних параметрів зразків, які застосовують для експериментального порівняння.

Таким чином, виникає важлива наукова і практична проблема, яка полягає у дослідженнях особливостей застосування теорії роботи диференціальних індуктивних вихорострумових перетворювачів стосовно визначення фізико-хімічних параметрів стічних вод харчових виробництв, а саме виробництв безалкого-

льних напоїв, продукції пивоваріння та виноробної галузі, стічні води яких мають кисле або лужне походження.

Метою статті є визначення можливостей застосування теорії роботи диференціального ПВП стосовно вимірювань електричних та температурних параметрів випробного зразка стічних вод міні-пивоварні.

Слід визначити, що параметричні перетворювачі вмикають в цифрові мости змінного струму з квадратною та екстремальною рівновагою [6]. Проте труднощі, які пов'язано з вимірюванням фізико-хімічних параметрів рідин за допомогою зазначених параметричних перетворювачів ускладнювали їх застосування через те, що параметричні перетворювачі мали обмежені функціональні можливості і тому за допомогою відповідних методів на базі ПВП, визначали один або два параметра металевих деталей обладнання приладобудування, машинобудування та енергетичного обладнання: найчастіш діаметр металевого виробу d або площу поперечного перерізу пластини S , відносну магнітну проникність μ , та питомий електричний опір ρ циліндричних, трубчастих та плоских деталей, вузлів та конструкцій відповідного обладнання [6-14]. У роботі [15] розглянуто функції перетворення параметричного електромагнітного (вихорострумowego) давача (ПЕД), призначеного задля вимірювань температури напівфабрикатів фруктових соків в процесі виготовлення продукції. Слід визначити, що метод розглянутий у роботі [15], має недоліки пов'язані з неточністю описання функцій перетворення, нехтування складовими рівняння теплового балансу ПЕД, також у роботі [15] не розглянуто компенсацію ефектів повітряного проміжку поміж зразком напівфабрикату та обмоткою ПЕД – все це призводить до виникнення суттєвих значень методичних похибок вимірювань характеристик напівфабрикату. У роботі [16], на основі нових універсальних функцій перетворення розроблено метод двопараметрового вимірювального контролю питомої електричної провідності χ , та температури t зразка стоків продукції пивоваріння. Аналізуючи чисельні данні електропровідності χ , ТДС та РН при початковій температурі $t_1 = 15^\circ$, визначено лужний характер пивних стоків міні-пивоварні, надано рекомендації стосовно застосування перспективного методу очищення стічних вод. Недоліками роботи [16], є досить складні алгоритми вимірювальних та розрахункових процедур при реалізації двопараметрового методу вимірювань на основі теплового трансформаторного вихорострумowego перетворювача (ТТП), який містить дві обмотки

призначені для вимірювань компонентів сигналів та задля створення магнітного потоку у зразку рідини, що контролюється, до недоліків слід також віднести складність апаратних рішень, зокрема в схемі включення ТТП зі зразками рідин, які підлягають нагріванню у процесі контролю, передбачають терморегулятор за допомогою якого здійснюється управління досить інерційним гріючим пристроєм – всі ці обмеження призводять до зниження точності вимірювань фізико-хімічних характеристик зразків стічних вод.

Слід визначити, що під час реалізації диференціальних методів вимірювань електричних та температурних параметрів об'єктів, здійснюється уточнення результатів вимірювань, тобто враховують величину та знак методичної похибки вимірювань, що в свою чергу, призводить до суттєвого зниження загальної похибки вимірювань параметрів досліджуваних об'єктів і як наслідок до підвищення точності вимірювань [6]. Отже для підвищення точності вимірювань характеристик стічних вод пивоварного виробництва, у даній роботі враховують різницевий сигнал двох ПВП: зі зразковою та випробною пробницею стічних вод. Принцип роботи ПВП засновано на аналізі взаємодії компонентів сигналів індуктивної котушки з вихровими струмами у зразку рідини, параметри якої досліджуються [6-14]. У загальному випадку ПВП включає до себе діелектричний каркас, на який за допомогою рядового укладення намотується робоча індуктивна обмотка. Довжина зразків дорівнює довжині обмотки ПВП зі зразковою пробною рідини та випробним зразком стічних вод, тобто l_1 та l_2 [6-8]. ПВП містять до себе універсальні індуктивні обмотки, які мають наступні суміщені апаратні функції: намагнетчування зразкової проби та випробного зразка рідини, вимірювання компонентів сигналів перетворювачів, які пов'язані з фізико-хімічними характеристиками досліджуваних зразків рідин, нагрівання зразків рідин у процесі вимірювань фізико-хімічних характеристик (за рахунок умонтованих в ПВП нагрівачів) для імітації виробничих умов виготовлення готової продукції. При цьому, під час вимірювань параметрів досліджуваних зразків стічних вод харчових виробництв питому електричну провідність χ та температуру t зразків визначають за допомогою застосування залежностей компонентів різницевого сигналу фазових кутів зсуву $\Delta\phi$ (поміж опорним та корисним магнітними потоками для зразкової проби Φ_{01} і Φ_2 та відповідними магнітними потоками для випробного зразка Φ_{02} і Φ_{21}) від відповідних значень узагальненого параметра A , тобто $\Delta\phi = f(A)$, а також за рахунок

застосування залежностей прирощення питомої електричної провідності $\Delta\chi$ від температури t , тобто $\Delta\chi = f(t)$.

Для отримання співвідношень, які описують алгоритми вимірювальних та розрахункових процедур призначених для вимірювань питомої електричної провідності χ та температури t зразків стічних вод, з урахуванням результатів робіт [7-10], потрібно застосувати многочлен Тейлора для досліджуваних функцій $\Delta\phi = f(A)$ і $\Delta\chi = f(t)$. Таким чином, за експериментально знайденими значеннями компонентів різницевого сигналу фазових кутів зсуву $\Delta\phi$, знаходять узагальнений параметр A , який пов'язано з приростами величин питомої електричної провідності χ та температури t . Роботу ІПВП, з урахуванням результатів наукових праць [6-16], можна описати наступною системою рівнянь:

$$\begin{aligned} \phi_3 &= f(\chi, t, d) \\ \phi_B &= f(\chi, t, d) \\ \Delta\phi &= \phi_3 - \phi_B = f(\chi, \Delta t, \Delta d) \end{aligned} \quad (1)$$

де ϕ_3 – фазовий кут зсуву поміж магнітними потоками Φ_{01} і Φ_2 на зразковій пробі; ϕ_B – фазовий кут зсуву поміж магнітними потоками на випробному зразку, тобто Φ_{02} і Φ_{21} ; $\Delta\phi$ – досліджуваний фазовий різнице-вий сигнал.

Якщо обмежити розкладання лінійними за відно-сними прирощеннями складовими многочлену Тейлора [7, 8], отримаємо наступну систему рівнянь для ви-значення відносних прирощень питомої електричної провідності $\Delta\chi$ та температури t зразків стічних вод:

$$\frac{\Delta A}{A_3} = \frac{dA}{d\phi} \frac{\phi_3}{A_3} \frac{\Delta\phi}{\phi_3}, \quad (2)$$

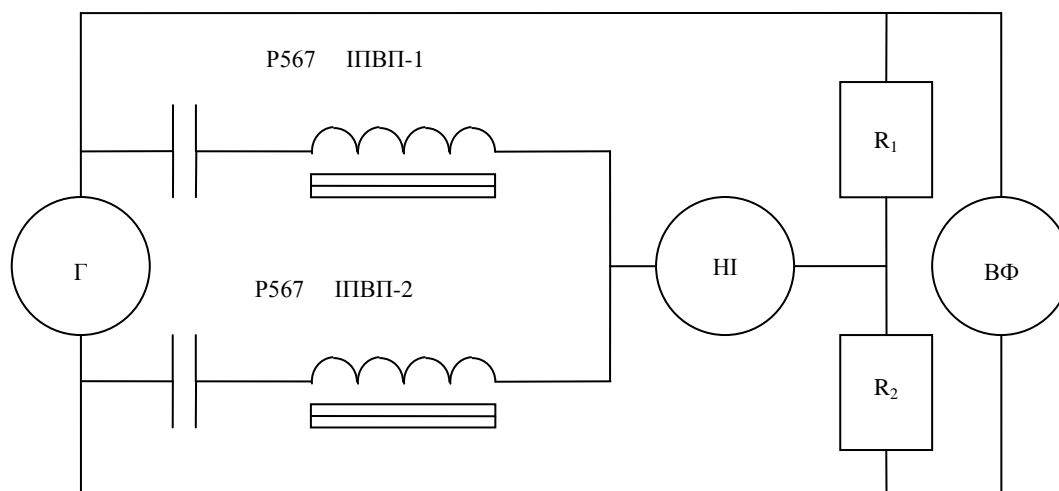


Рисунок 1 – Схема диференціального ІПВП для вимірювання електричних та температурних параметрів зразків стічних вод

$$\frac{\Delta\chi}{\chi_3} = \frac{d\chi}{dt} \frac{t_0}{\chi_3} \frac{\Delta t}{t_0},$$

де ϕ_3 , A_3 – параметри пов'язані зі стандартним зразком рідини, які визначають у фіксованих робочих точках ($A = A_0$) та ($\phi = \phi_0$) на універсальних функціях перетворення; $\Delta A/A$, $\Delta\chi/\chi$ і $\Delta t/t_0$ – відносні прирощення, які обумовлено відмінностями характеристик параметрів випробного зразку від параметрів зразкової проби рідини; $dA/d\phi$, $d\Delta\chi/dt$ – похідні універсальних функцій перетворення за відповідними аргументами функцій (які знаходять у робочих точках), де чутливість диференціального ІПВП до вимірюваних параметрів зразків стічних вод досягає найбільшого значення.

Взаємодію ІПВП у диференціальному варіанті, з урахуванням результатів робіт [6-14], можна представити у вигляді схеми, яка подана на рис. 1. Схема передбачає компенсацію ефектів повітряного проміжку під час дослідження зразкової проби та випробного зразка.

При цьому, здійснюється компенсація частини індуктивностей обмоток L_{01} та L_{02} , які обумовлені магнітними потокозчепленнями ψ_{01} і ψ_{02} у повітряному проміжку поміж зразковою пробною рідиною і обмоткою ІПВП-1, а також здійснюється аналогічна компенсація індуктивностей обмоток L_1 та L_2 , які обумовлені магнітними потокозчепленнями ψ_{02} і ψ_{21} у повітряному проміжку поміж випробним зразком та обмоткою ІПВП-2 (при чому, компенсація еквівалентна умовному переносу обмоток ІПВП-1 і ІПВП-2 безпосередньо на скляні трубки зі зразками рідин). Для проведення компенсації у схемі передбачено дві ємності P-597 [7, 8], за допомогою яких здійснюється компенсація ефектів повітряного проміжку.

Таким чином, в схемі застосовують два параметричних перетворювача ІПВП, які включено у диференціальному варіанті, змінний струм подається з генератора Г. В полі першого перетворювача ІПВП-1 розміщується зразкова проба рідини, а в полі другого ІПВП-2 випробний зразок, параметри якого підлягають вимірюванням. Схема також містить зразкові опори R_1 та R_2 задля досягнення зрівноваженого режиму роботи диференціального ІПВП. При цьому, якщо питома електрична провідність зразкової проби рідини є практично сумірною або близькою за питомою електричною провідністю зразка, що контролюється, струм за показом нуль-індикатора (НІ) є відсутнім. У випадку, якщо питома електрична провідність відрізняється (у нашому випадку, де приблизно на десятковий порядок за рахунок наявності домішок), нуль-індикатор зафіксує наявність струму I . Якщо робота схеми здійснюється у зрівноваженому режимі (відповідна операція здійснюється за рахунок застосування R_1 та R_2), за допомогою вимірювача фазового кута зсуву ВФ визначають інформативний різницевий фазовий сигнал $\Delta\phi$, після цього використовуючи універсальні функції перетворення $\Delta\phi = f(A)$ і $\Delta\lambda = f(t)$ і знаходять прирощення питомої електричної провідності $\Delta\chi/\chi$ та температури $\Delta t/t$ випробного зразка стічних вод.

Вираз для визначення питомої електричної провідності χ_3 зразкової проби (при відомому значенні температури t , яка виміряна контрольними методами, наприклад, термопарою Хромель-Алюмель К-200-1 ТХА) та вираз для визначення питомої електричної провідності χ_B випробного зразка стічних вод, мають наступний вигляд:

$$\chi_3 = \frac{d^2 \cdot \mu_0 \cdot \pi \cdot f}{2 \cdot A_1^2}, \quad (3)$$

$$\chi_B = \frac{d^2 \cdot \mu_0 \cdot \pi \cdot f}{2 \cdot A_2^2}, \quad (4)$$

де f – частота електромагнітних коливань диференціального ІПВП, μ_0 – магнітна проникність вакууму [17]; A_1 та A_2 – узагальнені параметри із магнітною складовою, які пов'язують компоненти сигналів перетворювачів з фізико-хімічними характеристиками зразків рідин.

Для різницевого сигналу двох параметричних перетворювачів $\Delta\phi$, абсолютне значення питомої електричної провідності χ зразка стічних вод знаходять за формулою:

$$\chi_t = \chi_3 \cdot \left(1 + \frac{\Delta\chi_B}{\chi_3} \right), \quad (5)$$

де $\Delta\chi_B/\chi_3$ – відношення прирощення питомої електричної провідності зразка χ , яке визначають за результатами вимірювань різницевого фазового сигналу диференціального ІПВП.

З урахуванням виразу (5), різницевий сигнал прирощення температури Δt визначають за формулою:

$$\chi_t = \chi_1 \left(1 + \alpha \left(-t_0 \right) \right), \quad (6)$$

або через фазовий різницевий сигнал ІПВП

$$t_B = \left(\frac{\Delta\phi}{\phi_3} - 1 \right) \cdot \frac{1}{\alpha} + t_0, \quad (7)$$

де α – температурний коефіцієнт опору зразка (який знаходять експериментально за результатами вимірювань двох температур рідини [17]), t_0 – початкова температура.

Результати вимірювань прирощень та абсолютних значень електричних та температурних параметрів зразків стічних вод, визначені нормовані параметри диференціального перетворювача, які пов'язують виміряні компоненти сигналів з фізико-хімічними характеристиками зразків стічних вод, чисельні значення похибок вимірювань γ_χ і γ_t наведено у табл.1. Аналізуючи дані табл.1, слід визначити узгодження результатів вимірювань абсолютних значень питомої електричної провідності χ та температури t випробного зразка з результатами вимірювань контрольними методами (мостом постійного струму Р-3043 та термопарою Хромель-Алюмель К-200-1 ТХА або ртутним термометром, у спеціальній оправі із пластику з ціною поділки 0,2°).

У відповідності з аналізом даних наведених в табл.1 впливає, що реалізація диференціального індуктивного вихорострумовевого методу призводить до уточнення результатів вимірювань та як наслідок до суттєвого зниження загальної похибки вимірювань електричних та температурних параметрів зразків стічних вод.

Таким чином, реалізація запропонованого методу призводить до спрощення вимірювальних алгоритмів електричних та температурних параметрів зразків стічних вод, при відомих геометричних розмірах диференціальних параметричних перетворювачів, відомих значеннях констант та отриманих результатів вимірювань компонентів різницевого фазового сигналу.

Таблиця 1 – Результати вимірювань фізико-хімічних параметрів зразка стічних вод диференціальним параметричним перетворювачем

A	$t', ^\circ$	φ	$\chi, \text{ Ом}\cdot\text{м}$	$t, ^\circ$	$\Delta A/A$	$\Delta t/t$	$\Delta\varphi/\varphi$	$\Delta\chi/\chi$	χ'	$\gamma_\chi, \%$	$\gamma_t, \%$
0,9930	18	-6,81	13,35	18,41	0,0133	0,0044	-0,0253	0,0171	13,03	2,46	2,28
1,0085	20	-6,97	13,59	20,29	0,0085	0,0015	-0,0234	0,0280	13,41	1,34	1,45
1,0247	22	-7,19	13,73	21,84	0,005	-0,0027	-0,0168	-0,0492	13,64	0,66	-0,73
1,0401	24	-7,40	14,62	24,22	0,0191	0,0083	-0,0075	0,0021	14,65	-0,20	-0,92
1,0543	26	-7,62	15,48	26,04	0,0138	0,0015	-0,0367	0,0013	15,40	-0,52	0,15
1,0694	28	-7,83	15,61	27,98	0,0085	-0,0004	-0,0261	-0,007	15,60	0,06	-0,07
1,0842	30	8,06	15,81	30,01	0,0039	0,0023	-0,0166	-0,001	15,80	0,06	0,03

Висновки

Результати, які наведено у даній статті, дозволяють визначити шляхи розв'язування важливої наукової і практичної проблеми, яка полягає у дослідженнях особливостей застосування теорії роботи диференціальних індуктивних вихорострумових перетворювачів стосовно визначення фізико-хімічних параметрів стічних вод харчових виробництв, а саме виробництв безалкогольних напоїв, продукції пивоваріння та виноробної галузі, стічні води яких мають кисле або лужне походження.

В рамках дослідження цієї проблеми запропоновано індуктивний вихорострумовий метод вимірювань питомої електричної провідності χ_v та температури t зразків стічних вод пивоварного виробництва, який засновано на попередньому визначенні компонентів фазового сигналу $\Delta\varphi$ диференціального параметричного вихорострумового перетворювача ІПВП шляхом застосування нормованих параметрів, які пов'язують різницевий фазовий сигнал диференціального ІПВП з фізико-хімічними характеристиками зразків стічних вод.

За допомогою апаратних прийомів, які полягають у нагріванні зразка та зі застосуванням компенсації впливу паразитного магнітного потоку, розроблено алгоритм вимірювальних і розрахункових процедур щодо сумісного визначення питомої електричної провідності χ_v та температури t зразків стічних вод пивоварного виробництва, при цьому параметри χ_v і t є інформативними при подальшому комплексному визначенні складу стічних вод у відповідності з нормативними документами.

Наукова новизна роботи полягає у дослідженнях теоретичних положень реалізації індуктивного багатопараметрового диференціального методу непрямих вимірювань фізико-хімічних параметрів стічних вод на основі попереднього визначення компонентів різницевого фазового сигналу диференціального ІПВП.

Практичне значення роботи полягає в тому, що наведена методика визначення електричних і температурних параметрів зразків стічних вод надає змогу контролювати пов'язані з параметрами χ_v і t фізико-хімічні характеристики стічних вод кислого і лужного походження під час виконання відповідного технічного контролю на виході з заторного і сусліварного чану, а також після отримання готового продукту.

Перспективи подальших досліджень полягають в створенні автоматизованих комп'ютерних систем вимірювань фізико-хімічних характеристик стічних вод пивоварної галузі при реалізації нових інформативних методів на основі диференціальних занурювальних теплових перетворювачів.

Список літератури

1. European Commission, European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau (EIPPCB). Reference Document on Best Available Techniques (BAT) in the Food, Drink and Milk Industries, Seville, EIPPCB, 2006.
2. DSTU ISO 14001: 2015. Environmental Management Systems. Vimoqi, thengiveus a freerein." ISO 14001: 2015, IDT.
3. Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives (Text with EEA relevance). Official Journal of the European Union L 312 (2008) 3–30.
4. Кватернюк С.М., Петрук В.Г. Мультиспектральний екологічний контроль інтегральних параметрів забруднення водних об'єктів. Екологічні науки. Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, Київ, 2018, №2 (21). С. 133–137.
5. Петрук В.Г., Васильківський І.В., Іщенко В.А. Методи контролю дисперсних середовищ для екологічного моніторингу. Вісник Вінницького політехнічного інституту, Вінниця, 2003, № 6. С.192–195.
6. Масвський С.М., Бабак В.П., Щербак Л.М. Основи побудови систем аналізу сигналів у неруйнівному контролі: навч. посіб. Київ: Либідь, 1993. 199 с.
7. Масалджийски М.Р., Пантелеев М.С., Сиренко Н.Н., Капустян А.А. Контроль магнитных и электрических параметров трубчатых изделий. Неразрушающие физические методы контроля: Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конф., Свердловск, 1990. С. 31–32.
8. Масалджийски Милко Роков. Электромагнитные многофунк-

- ациональные преобразователи систем автоматизации управления и контроля сортировочной цепи: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.13.05. Харьков, 1993. 21 с.
9. Обшта А.Ф., Стащук М.Г., Горопаський В.Г. Моделирование влияния агрессивных средовищ на электричне поле электропроводящих тел. Прикладні проблеми механіки і математики. Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я. С. Підстигала НАН України, Львів, 2004, № 2. С. 161–165.
 10. Обшта А.Ф., Стащук М.Г., Горопаський В.Г. Математична модель оцінки взаємовпливу робочих середовищ, конструкцій та елементів давачів при фізико – хімічних вимірюваннях. Вісник Національного Університету “Львівська політехніка”, Львів: 2004, № 522. С. 186–192.
 11. Куц Ю.В., Редька М.О., Близнюк О.Д. Метод виявлення сигналів вихрострумового неруйнівного контролю на фоні шуму за кількістю нулів процесу. Метрологія, інформаційно-вимірювальні технології та системи МІВТС-2020: зб. тез доп. VII Міжнар. наук.-техн. конф, м. Харків, 18-19 лют. 2020 р. Харків, 2020. С. 71–72.
 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, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sna.2015.02.018>.
 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, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sna.2016.07.029>.
 14. Себко В.В., Сиренко Н.Н., Гора С.А., Чан Куанг Минь, Нгуен Минь Чау. Параметрический преобразователь для определения потерь мощности. Технична електродинаміка, Київ: 1993, №4. С. 75–78.
 15. Себко В.В., Бабенко В.М., Ойтугдиева Л.В., Иванченко Д.Д. Универсальные функции преобразования параметрического электромагнитного датчика (ПЭД), с пробой полуфабриката продукции при изготовлении фруктового сока. Развитие науки в XXI столетии: Научно – информационный центр «Знания»: зб. статей за матеріалами міжнар. наук.-практ. конф. Ч.1, м. Харків, 2018. С. 52–58.
 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. Яворський Б. М., Детлаф А. А., Лебедев А. К. Довідник з фізики для інженерів та студентів вищих навчальних закладів / Переклад з 8-го переробл. і випр. вид. – Тернопіль : Навчальна книга, 2007–1040 с.
 5. Petruk V.H., Vasykivskiy I.V. Ishchenko V.A. Metody kontroliu dyspersnykh seredovyshch dlia ekolohichnoho monitorynhu. *Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu, Vinnytsia*, 2003, № 6. S.192–195.
 6. Maievskiy S.M., Babak V.P., Shcherbak L.M. Osnovy pobudovy system analizu syhnaliv u neruinivnomu kontroli: navch. posib. Kyiv: Lybid, 1993. 199 s.
 7. Masaldzhyisky M.R., Panteleev M.S., Syrenko N.N., Kapustian A.A. Kontrol mahnytnykh y elektricheskykh parametrov trubchatykh yzdelyi. Nerazrushaiushchye fizycheskiye metody kontroli: Tezysy dokladov Vsesoiuznoi nauchno-tekhnycheskoi konf., Sverdlovsk, 1990. S. 31–32.
 8. Masaldzhyisky Mylko Rokov. Электроманитные multifunktsionalnye preobrazovately system avtomatyzatsyy upravleniya y kontroliu sortirovki yzdelyi: avtoref. dys. kand. tekhn. nauk: 05.13.05. Kharkiv, 1993. 21 s.
 9. Obshta A.F., Stashchuk M.H., Horopatskiy V.H. Modeliuvannya vplyvu ahresyvykh seredovyshch na elektrichne pole elektroprovodnykh til. Prykladni problemy mekhaniky i matematyky. Instytut prykladnykh problem mekhaniky i matematyky im. Ya. S. Pidstyhala NAN Ukrainy, Lviv, 2004, № 2. S. 161–165.
 10. Obshta A.F., Stashchuk M.H., Horopatskiy V.H. Matematychna model otsinky vzaiemovplyvu robochykh seredovyshch, konstruktsii ta elementiv davachiv pry fizyko – khimichnykh vymiriuvanniakh. *Visnyk Natsionalnoho Universytetu “Lvivska politekhnika”*, Lviv: 2004, № 522. S. 186–192.
 11. Kuts Yu.V., Redka M.O., Blyzniuk O.D. Metod vyivlennia syhnaliv vykhrostrumovoho neruinivnoho kontroliu na foni shumu za kilkistiю nuliv protsesu. Metrolohiia, informatsiino-vymiriuvalni tekhnologii ta systemy MIVTS-2020: zb. tez dop. VII Mizhnar. nauk.-tekhn. konf, m. Kharkiv, 18-19 liut. 2020 r. Kharkiv, 2020. S. 71–72.
 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, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sna.2015.02.018>.
 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, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sna.2016.07.029>.
 14. Sebko V.V., Syrenko N.N., Hora S.A., Chan Kuanh Myn, Nhuen Myn Chau. Parametrycheskyi preobrazovatel dlia opredeleniya poter moshchnosty. *Tekhnichna elektrodynamika*, Kyiv: 1993, №4. S. 75–78.
 15. Sebko V.V., Babenko V.M., Oituhdyeva L.V., Yvanchenko D.D. Unyversalnye funktsyy preobrazovanyia parametrycheskoho elektromahnytnoho datchyka (PЭД), s proboi polufabrykata produktsyy pry yzgotovlenyи фруктового сока. *Rozvytok nauky v KhKhI stolitti: Naukovo – informatsiinyi tsentr «Znannia»*: zb. statei za materialamy mizhnar. nauk.-prakt. konf. Ch.1, m. Kharkiv, 2018. S. 52–58.
 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. Yavorskiy B. M., Detlaf A. A., Lebedev A. K. Dovidnyk z fizyky dlia inzheneriv ta studentiv vyshchykh navchalnykh zakladiv / Pereklad z 8-ho pererobl. i vypr. vyd. – Ternopil : Navchalna knyha, 2007–1040 s.

References (transliterated)

1. European Commission, European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau (EIPPCB). Reference Document on Best Available Techniques (BAT) in the Food, Drink and Milk Industries, Seville, EIPPCB, 2006.
2. DSTU ISO 14001: 2015. Environmental Management Systems. Vimogi, thengiveus a freerein.” ISO 14001: 2015, IDT.
3. Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives (Text with EEA relevance). Official Journal of the European Union L 312 (2008) 3–30.
4. Kvaterniuk S.M., Petruk V.H. Multyspektralnyi ekolohichnyi kontrol intehralnykh parametrov zabrudnennia vodnykh obiektiv. *Ekolohichni nauky. Derzhavna ekolohichna akademiia pisladyi ploomnoi osvity ta upravlinnia*, Kyiv, 2018, №2 (21). S. 133–137.

Надійшла (received) 19.10.2021

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Себко Вадим Вадимович (Себко Валим Вадимович, Sebko Vadim Vadimovich) – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри «Хімічна техніка та промислова екологія» м. Харків, Україна, 61000 Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3561-6281>; e-mail: vadim.sebko@gmail.com.

Бабенко Володимир Миколайович (Бабенко Владимир Николаевич, Babenko Volodymyr Mykolaiovych) – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», ст. викладач кафедри «Хімічна техніка та промислова екологія» м. Харків, Україна, 61000 Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8429-9414>; e-mail: vnniko19@gmail.com.

Пироженко Євгенія Володимирівна (Пироженко Евгения Владимировна, Pyrozhenko Yevheniia Volodymyrivna) – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», аспірант м. Харків, Україна, 61000 Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6298-8670>; e-mail: andreyperik@gmail.com.