

<https://doi.org/10.31891/2219-9365-2023-73-1-6>

УДК 504.064

Вадим СЕБКО

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

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

e-mail: [vadim.sebko@gmail.com](mailto:vadim.sebko@gmail.com)

Валерій ЗДОРЕНКО

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут"

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

e-mail: [alzd123@meta.ua](mailto:alzd123@meta.ua)

Наталія ЗАЩЕПКИНА

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут"

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

e-mail: [nanic1604@gmail.com](mailto:nanic1604@gmail.com)

Свєгенія ПИРОЖЕНКО

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

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

e-mail: [andreyperik@gmail.com](mailto:andreyperik@gmail.com)

## ВИХОРОСТРУМОВИЙ МЕТОД СУМІСНОГО ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ НОРМАТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ЗРАЗКІВ СТІЧНИХ ВОД ПИВОВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА

Досліджено можливість застосування теорії роботи індуктивного параметричного вихорострумowego перетворювача (ІПВП), стосовно інформативного багатопараметрового вимірювального контролю фізико-хімічних параметрів зразків стічних вод лужного складу. За рахунок введення спеціальних нормованих параметрів та встановлення універсальних функцій перетворення ІПВП, які пов'язують фізико-хімічні характеристики досліджуваної рідини з амплітудними і фазовими компонентами сигналів ІПВП, надано алгоритми вимірювальних та розрахункових процедур сумісного контролю динамічної в'язкості  $\mu_t$ , відносної діелектричної проникності  $\epsilon_r$ , питомої електричної провідності  $\chi_t$  і температури  $t$  зразків стічних вод пивоварного виробництва малої потужності (міні-пивоварні). Досліджено алгоритми вимірювальних та розрахункових процедур фізико-хімічних параметрів зразків стічних вод. Встановлено, що навіть незначні зміни параметрів  $\mu$ ,  $\epsilon_r$ ,  $\chi$  і  $t$  призводять до змінення компонентів сигналів електромагнітних перетворювачів: потокозчеплень  $\psi$ , опорів  $\Omega$  та індуктивностей обмотки  $L_1$  і  $L_2$  ІПВП та, як наслідок, узагальнених нормованих характеристик  $A$ ,  $G$  і  $\varphi$ , які пов'язують компоненти сигналів перетворювачів з фізико-хімічними параметрами зразків стічних вод. Точність спільного визначення фізико-хімічних параметрів зразків стічних вод пояснюється тим, що данні про динамічну в'язкість  $\mu$ , відносну діелектричну проникність  $\epsilon_r$ , питому електричну провідність  $\chi$  і температуру  $t$  отримують внаслідок зондування зразків стічних вод електромагнітним полем, котре викликає протікання вихрових струмів, у свою чергу на вихрові струми впливають зміни параметрів  $\mu$ ,  $\epsilon_r$ ,  $\chi$ , яке пов'язано, у тому числі і зі зміною температури  $t$  досліджуваних зразків стічних вод.

Ключові слова: стічні води, міні-пивоварні, лужний склад, фізико-хімічні параметри, сумісний вимірювальний контроль, алгоритми вимірювальних та розрахункових процедур, перетворювач, динамічна в'язкість  $\mu$ , відносна діелектрична проникність  $\epsilon_r$ , питома електрична провідність  $\chi$ , температура  $t$ .

Vadim SEBKO

Kharkiv Polytechnic Institute

Valeriy ZDORENKO, Nataliia ZASHCHERKINA

National Technical University of Ukraine Kiev Polytechnic Institute

Yevheniia PYROZHENKO

Kharkiv Polytechnic Institute

## THE EDDY CURRENT METHOD OF COMPATIBLE MEASUREMENT CONTROL OF REGULATORY PARAMETERS OF BREWERY WASTEWATER SAMPLES

The possibility of applying the theory of operation of the inductive parametric eddy-current converter (IPEC) concerning to informative multi-parameter measuring control of physico-chemical parameters of alkaline wastewater samples was studied. Due to the introduction of special normalized parameters and the establishment of universal IPEC conversion functions, which connect the physicochemical characteristics of the investigated liquid with the amplitude and phase components of IPEC signals, algorithms for the measurement and calculation procedures of the combined control of dynamic viscosity  $\mu_t$ , relative dielectric constant  $\epsilon_r$ , specific electrical conductivity  $\chi_t$  and temperature  $t$  of wastewater samples of small-capacity breweries (mini-breweries). Algorithms of measurement and calculation procedures of physico-chemical parameters of wastewater samples were studied. It was established that even slight changes in the parameters  $\mu$ ,  $\epsilon_r$ ,  $\chi$  and  $t$  lead to changes in the signal components of eddy-current converters: flux linkages  $\psi$ , resistances  $\Omega$  and inductances of the windings  $L_1$  and  $L_2$  of the IPEC and as a consequence of the generalized normalized characteristics  $A$ ,  $G$  and  $\varphi$ , which connect signal components of transducers with physicochemical parameters of wastewater samples. The accuracy of joint determination of the physicochemical parameters of wastewater samples is explained by the fact that data on dynamic viscosity  $\mu$ , relative dielectric constant  $\epsilon_r$ , specific electrical conductivity  $\chi$  and

temperature  $t$  are obtained as a result of probing wastewater samples with an eddy-current field, which causes the flow of eddy currents, in its turn, the eddy currents, a change in the parameters  $\mu$ ,  $\epsilon_r$ ,  $\chi$  is observed, which is associated, including, with a change in the temperature  $t$  of the investigated wastewater samples.

*Keywords:* wastewater, mini-brewery, alkaline composition, physicochemical parameters, compatible measurement control, algorithms of measurement and calculation procedures, converter, dynamic viscosity  $\mu$ , relative dielectric constant  $\epsilon_r$ , specific electrical conductivity  $\chi$ , temperature  $t$ .

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

На сьогодні міні-пивоварні розташовуються у центральних районах великих міст і навіть у порівняно невеликих населених пунктах, тобто ці підприємства прив'язані в основному до місць споживання пива, саме тому виникає необхідність у дослідженні відповідності показників стічних вод, нормативним документам, а також у вивченні ефективності природоохоронних заходів в результаті їхнього застосування. Забруднюючі речовини, які містяться в пивних стоках, потрапляючи в штучні та природні водойми, а також в результаті їх акумуляції у ґрунті, можуть суттєво погіршувати санітарний стан цілих районів, розташованих у межах населених пунктів. Слід визначити, що рН стічних вод, які містять білковий відстій, залпові викиди готового продукту, миючі та дезінфікуючі речовини, дорівнює приблизно рН = 10-12, тобто такі забруднення мають лужний склад та здійснюють суттєвий негативний вплив на земноводних, молюсків, рибу, птахів, а також на рослини, водорості та інших представників фауни і флори штучних та природних водойм, викликаючи їх захворювання та навіть загибель. Лужний склад стічних вод також утворюється внаслідок нагріву напівфабрикату до температури 80°C, що призводить до ризику залпових викидів пива, лужний склад стічних вод з великою кількістю органічного осаду, також реєструється і після виготовлення готової продукції [1-4]. При цьому, для вибору раціонального та економічно прийнятливого методу очищення стічних вод міні-пивоварен, необхідно підвищення точності визначення фізико-хімічних параметрів зразків стічних вод, шляхом застосування нових інформативних методів вимірювального контролю.

Слід визначити, що перш ніж знайти, які методи очищення стічних вод є раціональними для міні-пивоварень, необхідно мати інформацію про склад стічних вод та відповідність зразків стічних вод вимогам нормативних документів на підставі результатів вимірювань фізико-хімічних параметрів. Таким чином, подальших досліджень потребує проблема, яку пов'язано зі створенням нових багатопараметрових інформативних методів сумісного вимірювального контролю зразків фізико-хімічних параметрів стічних вод, одним і тим же вихорострумовим перетворювачем в одній і тій же зоні контролю.

Слід визначити, що разом з відносною діелектричною проникністю  $\epsilon_n$ , питомою електричною проникністю  $\chi$  і температурою  $t$ , данні стосовно параметра динамічної в'язкості  $\mu$ , є необхідними при реалізації процесів очищення пов'язаних з фільтрацією. Підвищення температури  $t$  зменшує ступінь дисоціації електролітів  $\alpha$  за рахунок зниження діелектричної проникності  $\epsilon_r$  та знижує в'язкість рідини  $\mu$ , яка пов'язана з опором  $r$  руху іонів [5], саме тому під час підвищення температури  $t$  збільшуються значення питомої електричної провідності  $\chi$  [5]. На сьогодні, при реалізації процесів очищення стічних вод харчових виробництв, застосовують емпіричні рівняння в'язкості  $\mu$ , які пов'язані зі застосуванням параметрів стану зразків стічних вод: концентрацією  $C$  та температурою  $t$  [5]. При цьому у якості еталонного переважно застосовують рівняння в'язкості для води (чистого розчинника), все це призводить до виникнення суттєвих значень похибок вимірювань фізико-хімічних параметрів зразків стічних вод. Саме тому, на теперішній час є відсутніми теоретичні положення роботи відповідних методів, на основі яких здійснюються точні вимірювання динамічної в'язкості  $\mu$  і виникає необхідність подальших досліджень теорії роботи безеталонних вимірювальних пристроїв та методів, які забезпечують необхідну точність вимірювань. В цьому плані особливий інтерес мають електромагнітні методи і пристрої, основними перевагами яких є простота функцій перетворення та схемних реалізацій, висока надійність та чутливість, можливість автоматизації вимірювального контролю фізико-хімічних параметрів електролітичних рідинних середовищ, швидка обробка даних при підключенні к сучасним обчислювальним пристроям, порівняно невеликі значення похибок вимірювань. Слід визначити, що на теперішній час, теорія роботи багатопараметрових теплових вихорострумових перетворювачів (ВП) для контролю параметрів електролітичних рідинних середовищ є практично не дослідженою та незважаючи на те, що деякі з цих методів було описано в наукових статтях [6-8], на практиці їм приділяють недостатньо уваги. Все це пояснюється, насамперед, складними електромагнітними процесами, які проходять у провідних електролітичних рідинних середовищах, а також дифузією змінного електромагнітного поля у електролітичні рідинні середовища, що контролюються [5-8]. Саме тому ускладнюються розрахунки та проектування занурюваних перетворювачів з осердям (осердя піддається нагріву) і прохідних вихорострумових давачів зі зразками електролітичних середовищ. Не розглянуто також методи та пристрої, за допомогою яких є можливим покращення метрологічних характеристик теплових ВП під час здійснення сумісного вимірювального контролю фізико-хімічних параметрів рідинних електролітичних середовищ. При цьому функціональні зв'язки між параметрами зразка електролітичної рідини та компонентами сигналу ВП є доволі складними, оскільки відповідні функціональні зв'язки, відображаються у вигляді спеціальних функцій Бесселя і Кельвіна [6-9].

Особливістю цих функцій є те що вони не мають зворотних функцій, тобто залежностей аргументів функцій Бесселя і Кельвіна від величини вказаних модифікованих функцій, при цьому за допомогою табличних значень та представлення відповідних функцій у вигляді степеневих рядів, є можливим отримати залежності фізико-хімічних параметрів електролітичних рідин від нормованих характеристик компонентів багатопараметрового сигналу ВП [6-9]. Таким чином, в результаті застосування універсальних функцій перетворення, можна отримати відповідні співвідношення, які описують реалізацію чотирипараметрового методу вимірювального контролю динамічної в'язкості  $\mu_t$ , відносної діелектричної проникності  $\epsilon_{rt}$ , питомої електричної провідності  $\chi_t$  і температури  $t$  (при цьому індекс, свідчить про залежність інформативних параметрів ППВП від температури  $t$  зразка електролітичної рідини [9]). На сьогодні особливий науковий і практичний інтерес представляють вихорострумові методи вимірювального контролю фізико-хімічних параметрів електролітичних рідинних середовищ, реалізація яких здійснюється на базі індуктивних параметричних вихорострумових перетворювачів (ППВП). Все це пов'язано з простотою конструкції цих пристроїв, які мають тільки одну обмотку, яка має три основні функції: вимірювання, намагнічування і нагрівання зразка електролітичної рідини (за рахунку вмонтованого нагрівача) [6-9].

Таким чином, метою статті є дослідження можливості застосування теорії роботи індуктивного параметричного вихорострумового перетворювача (ППВП) стосовно сумісного вимірювального контролю динамічної в'язкості  $\mu_t$ , відносної діелектричної проникності  $\epsilon_{rt}$ , питомої електричної провідності  $\chi_t$  і температури  $t$ .

Для досягнення мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. На основі застосування двох універсальних функцій перетворення  $L_{in1} = F(A_t)$  і  $L_{in2} = F(\Omega_{in2t})$ , які пов'язують компоненти сигналів ППВП з фізико-хімічними параметрами зразків стічних вод, дослідити багатопараметровий метод сумісного вимірювального контролю динамічної в'язкості  $\mu_t$ , відносної діелектричної проникності  $\epsilon_{rt}$ , питомої електричної провідності  $\chi_t$  і температури  $t$ .
2. Розробити алгоритм сумісного вимірювального контролю динамічної в'язкості  $\mu_t$ , відносної діелектричної проникності  $\epsilon_{rt}$ , питомої електричної провідності  $\chi_t$  і температури  $t$ .
3. Отримати співвідношення, які описують багатопараметровий метод сумісного вимірювального контролю параметрів  $\mu$ ,  $\epsilon_r$ ,  $\chi$  і  $t$  зразків стічних вод

Багатопараметровий вихорострумовий метод сумісного вимірювального контролю фізико-хімічних параметрів зразків лужних стічних вод.

Реалізація вихорострумових методів вимірювального контролю параметрів зразків електролітичних рідинних середовищ, пов'язана з ефектом впливу вихрових струмів, які збуджуються у провідному зразку, що контролюється, на електричні компоненти сигналів первинних електромагнітних перетворювачів [5-17]. В якості таких інформативних параметрів застосовують електричний опір  $\Omega_t$  і індуктивність  $L_t$  обмотки індуктивного параметричного вихорострумового перетворювача ППВП. На рис.1, наведено схему ППВП для сумісних вимірювань фізико-хімічних параметрів зразка стічних вод. Схема включає генератор  $G$ , частотомір  $Ч$ , ППВП зі зразком стічних вод, який піддається нагріву за допомогою нагрівача  $H$ , зразковий опір  $R_0$ , вольтметри  $V_1$ ,  $V_2$ , фазометр  $\Phi$ , амперметр  $A$ . ППВП в схемі відображується у вигляді послідовно увімкнених індуктивностей  $L_1$  і опору  $R_1$  обмотки. Схема передбачає компенсацію зовнішньої індуктивності  $L_0$  за рахунок послідовно увімкненої з ППВП компенсуючої ємності  $C_k$  (магазину ємностей ТЕ1070). Вольтметром  $V_2$  визначають падіння напруги на обмотці ППВП, тобто  $U_{in}$ . Фазометр  $\Phi$  реєструє фазовий кут зсуву  $\varphi$  поміж струмом  $I$  та напругою  $U_{in}$ , тобто  $\varphi_1$ . Під час роботи схеми, здійснюють попередні вимірювання струму  $I$ , падіння напруги  $U_{in}$  на пробниці зі зразком стічних вод та фазового кута зсуву  $\varphi$ . При цьому в результаті передбаченої компенсації напругу  $U_{in}$  обумовлено внутрішньою індуктивністю  $L_{in}$ , яка пов'язана зі складом зразка стічних вод.

Реалізація методу сумісного чотирипараметрового вихорострумового вимірювального контролю, полягає у тому, що спочатку, вводять питомі нормовані характеристики ППВП: нормовану внутрішню індуктивність  $L_{in}$ , питомий електричний опір  $\Omega_{in}$  та узагальнений параметр  $A$ , які містять інформацію щодо динамічної в'язкості  $\mu_t$ , відносної діелектричної проникності  $\epsilon_{rt}$ , питомої електричної провідності  $\chi_t$  і температури  $t$  зразків стічних вод. Далі за допомогою схеми включення ППВП, знаходять внутрішню індуктивність  $L_{it}$  і опір  $\Omega_{2t}$ , які викликані зміненням магнітного потоку  $\Phi_{2t}$ . Досліджувана математична модель "ППВП – зразок стічних вод", виражена системою рівнянь

$$\begin{cases} L_{in} = f_1(d, \mu, \epsilon_r, \chi, t) \\ \Omega_{in} = f_2(d, \mu, \epsilon_r, \chi, t) \\ \chi_t = \chi_1 \cdot [1 + \alpha \cdot (t - t_1)] \end{cases}, \quad (1)$$

де  $d$  – діаметр зразка стічних вод;  $\chi_1$  – питома електрична провідність зразка стічних вод при

початковій температурі;  $\alpha$  – температурний коефіцієнт опору, який знаходять експериментальним шляхом (за результатами вимірювань двох температур та двох значень електропровідності зразка [9]);  $t_1$  – початкова температура зразка стічних вод.

Узагальнений параметр  $A$ , знаходять за формулою

$$A = \sqrt{\mu_0 \cdot \chi_t \cdot \omega}, \quad (2)$$

де  $\mu_0$  – магнітна стала,  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{Гн/м}$ ;  $\omega$  – циклічна частота.

Далі з урахуванням компенсації частини сумарної індуктивності  $L_\Sigma$ , вимірюють напругу  $U_n$  на струмопідводах скляної трубки, які розташовано з її торців та фазовий кут зсуву  $\varphi$ , потім визначають внутрішню індуктивність  $L_{it}$  та знаходять індуктивність  $L_0$ , при частоті магнітного поля  $f=0$ .

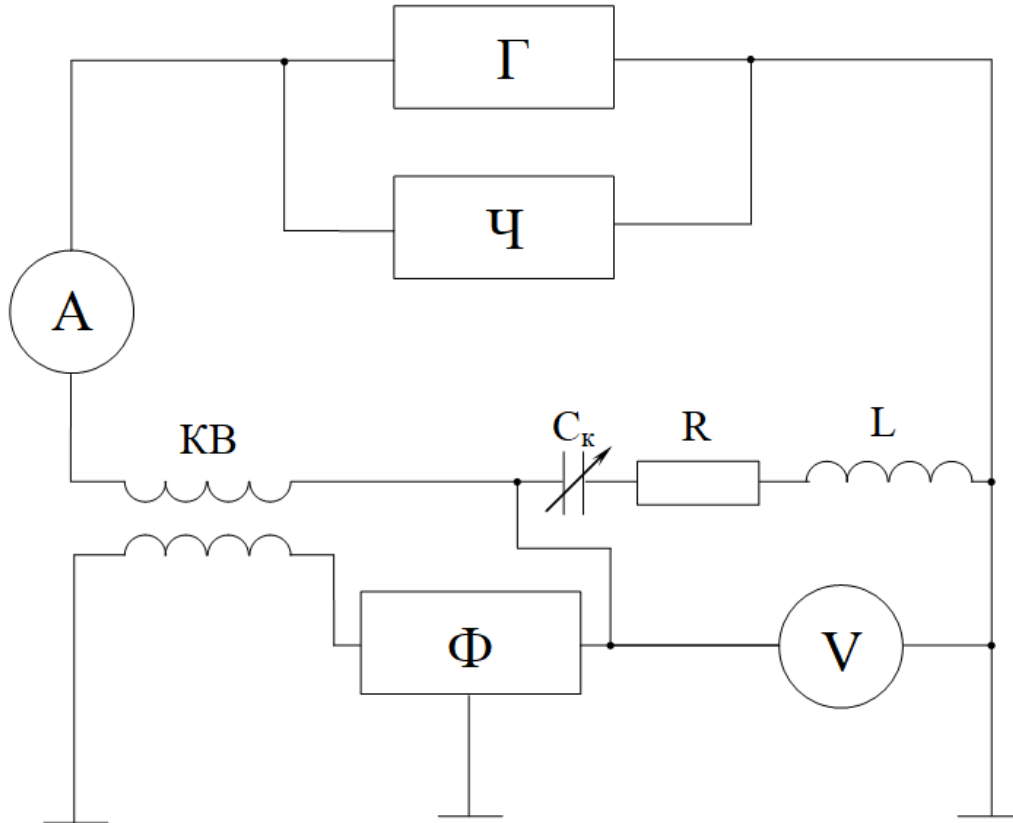


Рис.1. Схема ШВП для сумісного вимірювального контролю динамічної в'язкості  $\mu$ , відносної діелектричної проникності  $\epsilon_{rt}$ , питомої електричної провідності  $\chi_t$  і температури  $t$

Нормовану внутрішню індуктивність визначають за формулою

$$L_{int} = \frac{L_{it}}{L_0}. \quad (3)$$

Далі при вимкненому нагрівачі  $H$ , встановлюють робочу точку на залежності нормованої внутрішньої індуктивності від узагальненого параметра  $A$ , тобто  $L_{int} = F(A_t)$  рис.2. При цьому, якщо значення  $A$  знаходиться у діапазоні  $1 \leq A \leq 2,5$ , де чутливість ШВП є найбільшою, залишають незмінним значення встановленої частоти  $f$  магнітного поля ШВП.

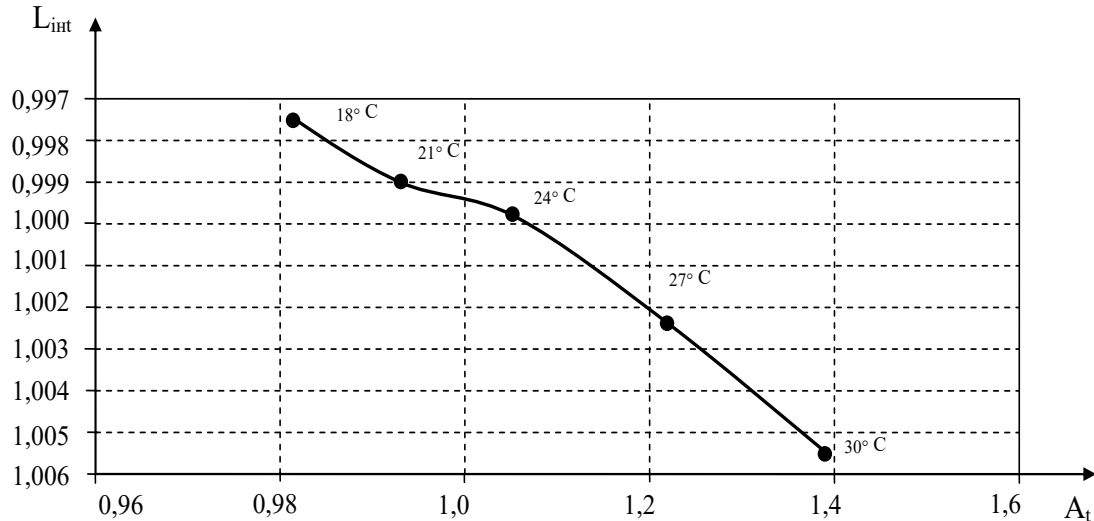


Рис.2 Залежність нормованої внутрішньої індуктивності від узагальненого параметра А, тобто  $L_{int} = F(A_t)$

У випадку якщо А не потрапляє у заданий діапазон, встановлюють іншу частоту та здійснюють повторні вимірювання компонентів сигналів ІПВП, доки значення А не потрапить до діапазону  $1 \leq A \leq 2,5$ . Далі за допомогою нагрівача змінюють температуру  $t$  зразка рідини в діапазоні від 18 до 30°C та вимірюють компоненти сигналів ІПВП:  $U_n$ ,  $\varphi_t$ ,  $L_{it}$ .

Опір  $\Omega_{2t}$  на змінному струмі І, визначають за формулою

$$\Omega_{2t} = \frac{U_n}{I} \cdot \cos \varphi_t. \quad (4)$$

Знаючи опір, знаходять термозалежний нормований параметр  $\Omega_{n2t}$

$$\Omega_{n2t} = \frac{\Omega_{2t}}{\Omega_0}, \quad (5)$$

де  $\Omega_0$  – опір зразка на постійному струмі.

Для знаходження параметра  $\chi_t$  необхідно застосування іншої функції перетворення, тобто  $L_{int} = F(\Omega_{n2t})$  (рис.3). На рис.2 та рис.3 встановлено температурні точки, які відповідають температурам  $t = 18; 21; 24; 27; 30^\circ\text{C}$ .

Індуктивність  $L_{in1}$ , визначають за формулою

$$L_{in1} = \frac{L_{it}}{L_0} \cdot A_t^2. \quad (6)$$

Після цього знаходять питому електричну провідність  $\chi_t$  зразка рідини

$$\chi_t = \frac{2 \cdot L_{in1} \cdot L_0}{L_{it} \cdot d_n^2 \cdot \pi \cdot f_t \cdot \mu_0}. \quad (7)$$

Відносну діелектричну проникність  $\epsilon_r$ , знаходять за формулою

$$\epsilon_r = \frac{\omega}{4 \cdot \pi \cdot \chi \cdot \epsilon_0 \cdot 10^{-8}} \quad (8)$$

Температуру зразка стічних вод  $t_n$  визначають наступним чином:

$$t_n = \left(\frac{1}{\alpha}\right) \cdot \left(\frac{A_1}{A_t} - 1\right) + t_0 \quad (9)$$

Динамічну в'язкість  $\mu$  рідинного електролітичного середовища, можна визначити для конкретної температури  $t$  (з урахуванням формули Гросса), знаючи величини в'язкості для двох температур  $t_1$  і  $t_2$  із досліджуваного температурного діапазону, тобто  $t = [15 - 35^\circ\text{C}]$  [5].

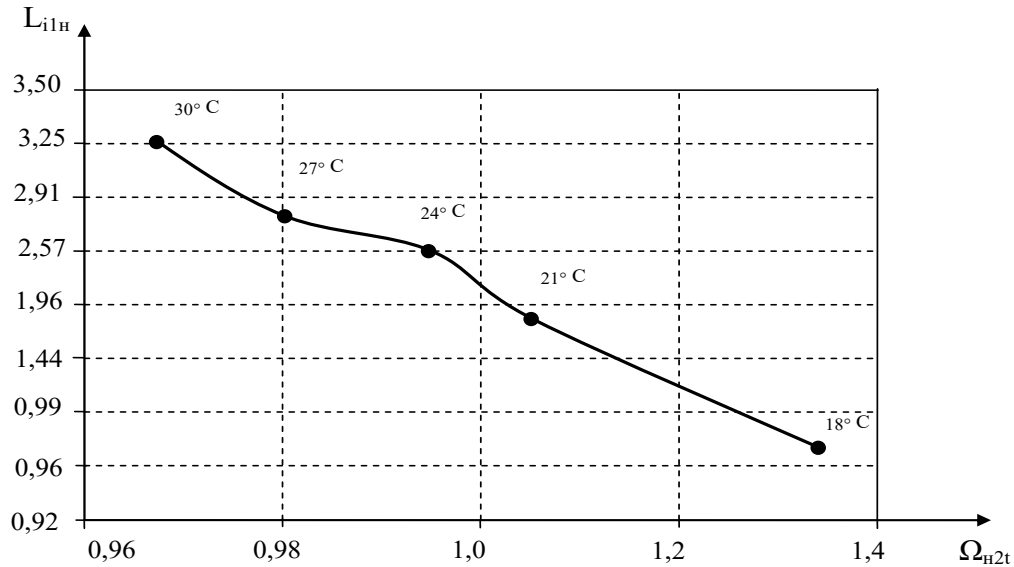


Рис.3 Залежність нормованої внутрішньої індуктивності від нормованого опору  $\Omega_{n2t}$ , тобто  $L_{int} = F(\Omega_{n2t})$

Далі необхідно знайти значення в'язкості  $\mu_t$  для конкретної температури зразків стічних вод  $t_n$  з досліджуваного діапазону з урахуванням [5], за формулою

$$\mu_t = \mu_2 \cdot 10^{\frac{k_t \cdot \lg \frac{t_2}{t_n}}{t_n}} \quad (11)$$

де  $k_t$  – коефіцієнт, який знаходять за результатами вимірювань двох температур  $t_1$  і  $t_2$  та двох значень в'язкості  $\mu_1$  і  $\mu_2$ , виміряними контрольними методами при цих температурах [5]

$$k_t = \frac{\lg \frac{\mu_1}{\mu_2}}{\lg \frac{t_2}{t_1}} \quad (12)$$

На основі виразів (11) і (12), при реалізації вихорострумовевого метода на базі ПІВП отримана залежність в'язкості від температури зразка лужних пивних стоків

$$\mu_t = \mu_2 \cdot 10^{\frac{k_t \cdot \lg \frac{t_2 \cdot \alpha}{\left(\frac{A_1}{A_t} - 1\right) + t_0}}{t_n}} \quad (13)$$

Формула (13) отримана за умов, що момент сил тертя створюється виключно в'язкістю рідини, а середовище, що досліджується, є безперервним [5]. При цьому, чим вище в'язкість розчину  $\mu$ , тим менша рухливість іонів  $i$ , як наслідок, менша величина електропровідності  $\chi_t$  для слабких електролітів (зразків стічних вод) [5], при підвищенні температури  $t$  в'язкість зразків зменшується.

В таблиці 1 наведено значення динамічної в'язкості  $\mu$  зразка лужного стоку при конкретних температурах  $t$  з досліджуваного діапазону, які отримано за допомогою формули (13) та знайдені чисельні значення відносної діелектричної проникності  $\epsilon_r$  і питомої електричної провідності  $\chi_t$ .

Таблиця 1

**Результати визначення динамічної в'язкості  $\mu_t$ , відносної діелектричної проникності  $\epsilon_{rt}$ , питомої електричної провідності  $\chi_t$  і температури  $t$  зразка лужного стоку ( $P = 0,101325$  МПа;  $t = [15 - 35^\circ\text{C}]$ ).**

$t, ^\circ\text{C}$	$\mu_t, 10^{-4}, \text{Па}\cdot\text{с}$	$\epsilon_{rt}$	$\chi_t, \text{См/м}$
15,32	10,10	72,28	15,09
17,26	9,55	67,34	15,60
18,70	9,07	59,45	16,32
20,96	8,69	49,87	16,51
22,87	8,25	44,42	17,02
25,12	7,92	40,80	17,52
27,10	7,72	36,76	18,33
29,04	7,42	33,18	18,82
30,94	7,37	30,47	19,04
32,85	7,01	28,33	19,55

### Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Таким чином, в рамках вирішення важливої наукової і практичної проблеми, яку пов'язано зі створенням нових багатопараметрових інформативних методів сумісного вимірювального контролю фізико-хімічних параметрів зразків стічних вод, одним і тим же вихорострумовим перетворювачем в однієї і тієї ж зоні контролю, досліджено вихорострумовий чотирипараметровий метод сумісного вимірювального контролю динамічної в'язкості  $\mu_t$ , відносної діелектричної проникності  $\epsilon_r$ , питомої електричної провідності  $\chi_t$  і температури  $t$  зразків пивних стоків на основі індуктивного параметричного вихорострумового перетворювача (ІПВП). Слід визначити, що застосування ІПВП обмотка якого здійснює водночас вимірювальні і намагнічувальні функції та змінює температуру  $t$  зразка в процесі вимірювань (за рахунок вмонтованого нагрівача), призводить до спрощення алгоритмів визначення фізико-хімічних параметрів зразків стічних вод при відомих геометричних розмірах ІПВП, відомих значеннях констант та отриманих значеннях компонентів сигналів зі зразком стічних вод лужного складу. За рахунок введення спеціальних нормованих параметрів та встановлення універсальних функцій перетворення ІПВП, які пов'язують фізико-хімічні характеристики досліджуваної рідини: динамічну в'язкість  $\mu_t$ , відносну діелектричну проникність  $\epsilon_r$ , питому електричну провідність  $\chi_t$  і температуру  $t$  з амплітудними і фазовими компонентами сигналів ІПВП, досліджено алгоритми вимірювальних та розрахункових процедур. Наведено вирази для сумісного вимірювального контролю параметрів  $\mu_t$ ,  $\chi_t$ ,  $\epsilon_{rt}$  і  $t_m$  лужних пивних стоків.

### Література

1. Перелік забруднюючих речовин для визначення хімічного стану масивів поверхневих і підземних вод та екологічного потенціалу штучного або істотно зміненого масиву поверхневих вод. Затверджений наказом Міністерства екології та природних ресурсів України від 06.02.2017 року № 45. Зареєстрований в Міністерстві юстиції України 20.02.2017 року за № 235/30103.
2. Правила приймання стічних вод до систем централізованого водовідведення, затверджених наказом Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 01.12.2017 року № 316. Наказ Мінрегіону від 01.12.2017 № 316. (Зареєстрований в Міністерстві юстиції України 15.01.2018 року за № 56/31508).
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. Аналітичні екологічні прилади та системи: монографія. / Порев В.А. та ін.; за ред. В.А. Порєва. Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2009. 336 с.
6. Somkhyeva O.S. Parametrycheskyi dyfferentsyalnii dvukhparametrovii preobrazovatel. *Vestnyk Kharkovskoho hosudarstvennoho polytekhnicheskoho unyversyteta*. Kharkov: KhHPU. 1999. Вър. 37. S.31-34.
7. Moskalenko Y.Y. Elektromahnytnii parametrycheskyi preobrazovatel. *Ukrainskyi metrolohichnyi zhurnal*. Kharkiv, 1997. Vyp. 1. S. 7–10.
8. Бабак В.П., Маєвський С.М., Щербак Л.М. Основи побудови систем аналізу сигналів у неруйнівному контролі: навч. посіб. Київ: Либідь, 1993. 194 с.
9. Sebko V.P., Sebko V.V. Vykhetokovie metodi y preobrazovately dlia opredeleniya temperaturi yzdeliy y sred. *Visnyk Kharkivskoho derzhavnoho politekhnichnoho unyversytetu*. Kharkiv: KhDPU, 1999. №24S.10–16.

10. 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.
11. 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.
12. Yong Lia, Bei Yana Wenjia, Lia Haoqing Jinga, Zhenmao Chena Da Lib Pulse-modulation eddy current probes for imaging of external corrosion in nonmagnetic pipes *NDT & E International* Volume 88, June 2017, Pages 51-58.
13. Середюк О.С., Барна О.Б., Криницький О.С. Електричний, магнітний та електромагнітний види неруйнівного контролю в нафтовій галузі: навчальний посібник. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2017. 348с.
14. Обшта А. Ф., Стащук М. Г., Горопаський В. Г. Моделювання впливу агресивних середовищ на електричне поле електропровідних тіл. *Прикладні проблеми механіки і математики*. Львів. Науковий збірник, 2004. № 2. С. 161–165.
15. Обшта А. Ф., Стащук М. Г., Горопаський В. Г. Математична модель оцінки взаємовпливу робочих середовищ, конструкцій та елементів давачів при фізико-хімічних вимірюваннях. *Вісник НУ “Львівська політехніка” Комп’ютерні системи проектування. Теорія і практика*. Львів, 2004. № 522. С. 186 – 192.
16. Тетерко А.Я. Метод формування інформаційного сигналу та підвищення точності вихрострумowego 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.
17. Pyrozhenko Ye.V., SebkoV.V., ZdorenkoV.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.

#### References

1. Perelik zabrudniuiuchykh rečovyn dlia vyznachennia khimichnoho stanu masyviv poverkhnevyykh i pidzemnykh vod ta ekolohichnoho potentsialu shtuchnoho або istotno zminenoho masyvu poverkhnevyykh vod. Zatverdzhenni nakazom Ministerstva ekolohii ta pryrodnykh resursiv Ukrainy vid 06.02.2017 roku № 45. Zareiestrovanyi v Ministerstvi yustytzii Ukrainy 20.02.2017 roku za № 235/30103.
2. Pravyla pryimannia stichnykh vod do system tsentralizovanoho vodovidvedennia, zatverdzhenykh nakazom Ministerstva rehionalnoho rozvytku, budivnytstva ta zhytlovo-komunalnoho hospodarstva Ukrainy vid 01.12.2017 roku № 316. Nakaz Minrehionu vid 01.12.2017 № 316. (Zareiestrovanyi v Ministerstvi yustytzii Ukrainy 15.01.2018 roku za № 56/31508).
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. Analitichni ekolohichni pryklady ta systemy: monohrafiia. / Poriev V.A. ta in.; za red. V.A. Porieva. Vinnytsia: UNIVERSUM-Vinnytsia, 2009. 336 s.
6. Somkhyeva O.S. Parametrycheskyi dyfferentsyalnii dvukhparametrovii preobrazovatel. *Vestnyk Kharkovskoho hosudarstvennoho polytekhnicheskoho unyversytetu*. Kharkov: KhHPU. 1999. Вър. 37. S.31-34.
7. Moskalenko Y.Y. Elektromahnytnii parametrycheskyi preobrazovatel. *Ukrainskyi metrolohichnyi zhurnal*. Kharkiv, 1997. Vyp. 1. S. 7–10.
8. Babak V.P., Maievskiy S.M., Shcherbak L.M. Osnovy pobudovy system analizu syhnaliv u neruivnomu kontroli:navch. posib. Kyiv: Lybid, 1993.194 s.
9. Sebko V.P., Sebko V.V. Vykhetokovie metodi y preobrazovately dlia opredeleniya temperaturi yzdeliy y sred. Visnyk Kharkivskoho derzhavnogo politekhnichnoho unyversytetu. Kharkiv: KhDPU, 1999. №24 S.10–16.
10. 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.
11. 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.
12. Yong Lia, Bei Yana Wenjia, Lia Haoqing Jinga, Zhenmao Chena Da Lib Pulse-modulation eddy current probes for imaging of external corrosion in nonmagnetic pipes *NDT & E International* Volume 88, June 2017, Pages 51-58.
13. Serediuk O.Ie., Barna O.B., Krynytskyi O.S. Elektrichnyi, mahnitnyi ta elektromahnitnyi vydy neruivnoho kontroliu v naftovii haluzi: navchalnyi posibnyk. Ivano-Frankivsk: IFNTUNH, 2017. 348s.
14. Obshta A. F., Stashchuk M. H., Horopatskyi V. H. Modeliuvannia vplyvu ahresyvnykh seredovysshch na elektrychne pole elektroprovodnykh til. *Prykladni problemy mekhaniky i matematyky*. Lviv. Naukovyi zbirnyk, 2004. № 2. S. 161–165.
15. Obshta A. F., Stashchuk M. H., Horopatskyi V. H. Matematychna model otsinky vzaiemovplyvu robochykh seredovysshch, konstruktivnykh ta elementiv davachiv pry fizyko-khimichnykh vymyriuvanniakh. *Visnyk NU “Lvivska politekhnika” Kompiuterni systemy proektuvannia. Teoriia i praktyka*. Lviv, 2004. № 522. S. 186 – 192.
16. Teterko A.Ia. Metod formuvannia informatsiinoho syhnalu ta pidvyshchennia tochnosti vykhrostrumovogo 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.
17. Pyrozhenko Ye.V., SebkoV.V., ZdorenkoV.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.