

Пироженко Є.В., асп., Себко В.В., д.техн.н., проф., Здоренко В.Г., д.техн.н., проф.,
Бабенко В.М., к.техн.н., ст.викл, Горбунова О.В., ст.викл.

СУМІСНИЙ ВИМІРЮВАЛЬНИЙ КОНТРОЛЬ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЗРАЗКА ПИВНИХ СТОКІВ

Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків

Ключеві слова: техноекологія, виробництво пива, методи очищення, інформативний метод, кислі стічні води, фільтр, сумісний контроль, питома електрична провідність, температура.

На сьогодні, найважливішим завданням вітчизняної техноекології є очищення промислових стічних вод харчової та переробної промисловості. При створенні очисних споруд на підприємствах пивоварної промисловості необхідно враховувати специфічні особливості стоку обумовлені: технологіями виробництва продукції, споживанням води, методами очищення стічних вод, а також технічними можливостями інформативних методів контролю фізико-хімічних характеристик зразків стічних вод [1–3]. Стічні води, що надходять на очисні споруди, утворюються на різних стадіях виробничого процесу (затирання солоду, бродіння, кип'ятіння, фільтрація та ін.). Відходи, які утворюються на великих і середніх підприємствах, використовуються і утилізуються самими підприємствами [1–3]. Однак для міні-пивоварень удосконалення відомих і розробка нових способів очищення стічних вод є важливими і актуальними задачами. При цьому, стічні води в тих чи інших частках мають кислотний або лужний склад зі суспендованими речовинами [1–3]. Основними показниками нормативних документів і санітарних інструкцій на стічні води є питома електрична провідність χ , водневий показник pH , температура t і пов'язані з ними характеристики мінералізації $TДС$ і загальної жорсткості dGH [1–3].

На теперішній час, найбільш розповсюджені кондуктометричні методи і пристрої вимірювань питомої електропровідності χ (або питомого електричного опору k) водних розчинів електролітів [4–7]. При існуючій різноманітності кондуктометричних методів і пристроїв всі ці методи об'єднує реалізація основних операцій визначення χ в кондуктометричному осередку. При вимірі χ очищеної води, кондуктометричні методи вимірювань використовуються нормативними документами як еталонні. Слід зазначити, що при істотному зниженні χ розчинів електролітів, а також емульсійних рідин, які утворюються в стічних водах пивоварних виробництв до конструкції кондуктометричного осередку і до електродів починають пред'являтися досить жорсткі вимоги [4]. При цьому, інформативний параметр χ водних розчинів слабких електролітів і емульсійних рідин залежить від температури t і концентрації різних домішок: сульфатів, хлоридів, азоту, фосфору, молочної, масляної та вугільної кислот (що виникають в результаті загнивання білків) та ін. [7–14]. При загниванні стічних вод активна реакція середовища робиться кислою, в цьому випадку $pH < 4,3$. У практиці кондуктометричних вимірювань, прийнято значення питомої електропровідності χ приводити до 25 °С, все це викликає неточності інформативного контролю фізико-хімічних характеристик рідинних середовищ і призводить до виникнення додаткового

джерела похибок вимірювань. Саме тому для вибору способів очищення стічних вод виробництв пивоварної галузі, необхідно сумісне визначення χ і t , при цьому величина χ буде відрізнятися за чисельними даними, для різних зразків стічних вод в залежності від кислого або лужного походження зразків пивних стоків.

У зв'язку з цим виникає необхідність в створенні нових широкомежових методів спільного вимірювального контролю питомої електричної провідності χ і температури t проб розчинів слабких електролітів та емульсій. Слід зазначити, що визначення температури t до потрапляння стічних вод як в міську каналізацію, так і у відкриті водойми, має важливе самостійне значення в плані запобігання теплових забруднень. Так, наприклад, для відкритих водойм, погіршення якості води при підвищенні температури, призводить до зниження розчинності кисню, яка зменшується на одну третину при температурі близькій до 30 °С викликаючи евтрофікацію водойм, в свою чергу, процес евтрофікації знищує більшу частину видів флори і фауни водойм, сильно трансформуючи екосистеми водоймищ та істотно погіршує санітарно-гігієнічні характеристики зразків води [2].

Як відомо, найважливішим показником відповідності стічних вод до нормативних документів є водневий показник pH [1–3]. Залежно від рівня pH визначають ефективність засобів і методів очищення стічних вод. Цей показник пов'язаний з жорсткістю води, чим більше значення pH (лужний характер стічних вод), тим більше жорсткість dGH . З жорсткістю води dGH також пов'язана питома електрична провідність стічних вод χ , тобто чим менше dGH , тим менше значення χ . При цьому стічні води пивоварного виробництва можуть мати також і кислий характер, так як дріжджі, білки і вуглеводи в результаті гниття утворюють в основному одноосновні слабкі карбонові кислоти [2]. У свою чергу, все це призводить до того, що в результаті антропогенного забруднення природних та штучних водойм, відбувається відхилення від нормативних документів важливих характеристик середовища, які відповідають нормам реакції мікроорганізмів на ці характеристики.

Таким чином, подальших досліджень потребує проблема зменшення антропогенного навантаження за рахунок моделювання пов'язаних з ним процесів руйнування природного середовища районів великих міст, в яких розташовані виробництва пивоварної галузі при реалізації перспективних методів очищення на основі попереднього вимірювального контролю фізико-хімічних характеристик зразків пивних стоків кислого та лужного походження. При цьому, для обирання способів очищення у подальших перспективних дослідженнях необхідна реалізація нових інформативних методів сумісного вимірювального контролю питомої електричної провідності χ , температури t та інших корелюючих з електричними та температурними параметрами фізико-хімічних величин: ТДС, dGH та рівня pH .

Слід зазначити, що вимірюючи різні характеристики зразків слабких електролітів (до яких відносять і пивні стоки), як правило, використовують кілька вимірювальних пристроїв (кондуктометри, мости змінного струму, pH -метри, ТДС-метри, термометри). Для спрощення вимірювальних процедур, виникає необхідність застосування тільки одного первинного пристрою – електромагнітного перетворювача за допомогою якого створюється інформаційна надмірність, а потім на основі теорії непрямих і сукупних вимірювань можна визначити відразу кілька параметрів зразків стічної води одночасно одним і тим же первинним перетворювачем.

Основними перевагами цих методів є безконтактність, простота функцій перетворення і схемних реалізацій, висока надійність і чутливість, можливість автоматиза-

ції процесу вимірювань – все це надає змогу щодо подальшого розвитку цих методів та пристроїв у напрямку вимірювань багатьох фізико-хімічних параметрів, які характеризують стан стічних вод пивоварних виробництв.

Слід зазначити, що до теперішнього часу теорія роботи багатопараметрових вихорострумових перетворювачів була недостатньо розвинена стосовно контролю рідинних середовищ, незважаючи на те, що деякі з цих методів були описані в наукових статтях [15–17]. Все це пояснюється насамперед складністю електромагнітних процесів, що відбуваються в провідних рідинних середовищах, пов'язаних з дифузією в них змінного магнітного поля, тому були ускладнені розрахунки і проектування занурювальних перетворювачів з осердям, що піддається нагріву у процесі контролю або прохідних вихорострумових перетворювачів з контрольованою пробю рідини. Таким чином, при вимірювальному контролі рідинних середовищ доцільно використовувати прохідні вихорострумові перетворювачі з двома обмотками, котушки яких охоплюють контрольований об'єкт – пробу рідини (що знаходиться в скляній трубці), за поширеною класифікацією ці перетворювачі відносять до вихорострумових трансформаторних перетворювачів ТВП [15].

Слід зазначити, що якщо підприємство розташоване в межах міста, кислі стічні води можуть подаватися в міську каналізацію – за умови, що їх кількість складає менше ніж 4 % від обсягу загальноміських стічних вод. Якщо стоки мають кислу реакцію, перед скидом їх нейтралізують, при цьому скид стічних вод в міську каналізацію без попередньої очистки неприпустимий.

Тому є підстави вважати, що питання, які пов'язані з обиранням методу очищення, а також моделюванням подальшої екологічної ситуації, яка пов'язана зі скидом стічних вод пивоварних виробництв – потребують створення нових широкомежових інформативних методів контролю пивних стоків, у свою чергу, недостатня визначеність теоретичних положень роботи вихорострумових пристроїв та обмеження реалізації методів вимірювального контролю електричних і температурних параметрів зразків слабких електролітів, обумовлюють необхідність проведення відповідних досліджень задля досягнення високого ступеню очищення зразків пивних стоків за вказаними вище напрямками.

Таким чином, метою роботи є дослідження інформативного метода сумісного вимірювального контролю питомої електричної провідності χ та температури t на основі трансформаторного вихорострумового перетворювача ТВП зі зразком пивних стоків кислого походження.

Для досягнення мети необхідно розв'язати наступні завдання:

- дослідити можливість застосування теорії роботи ТВП стосовно реалізації інформативного двопараметрового вихорострумового метода сумісного вимірювального контролю питомої електричної провідності χ та температури t зразка пивних стоків;
- навести алгоритми моделювання процесу сумісного вимірювального контролю питомої електричної провідності χ та температури t зразка за допомогою ТВП;
- навести основні співвідношення для визначення електричної провідності χ і температури t зразка стічних вод.

Двопараметровий вихорострумовий метод сумісного вимірювального контролю електричних та температурних параметрів зразка кислих стічних вод пивоварних виробництв.

У роботах [16, 17] запропоновано контактні електромагнітні методи сумісного вимірювального контролю електричних і температурних параметрів зразків розчинів ка-

рбонових кислот. Показано, що підвищення точності вимірювань значень температури зразків відбувається, за рахунок розроблених алгоритмів вимірювальних та розрахункових процедур, які містять операції зі складовими компонентами сигналів теплових контактних електромагнітних перетворювачів (КЕП). Однак слід зазначити, що в [16, 17] не наведено шляхи встановлення оптимальних режимів роботи перетворювача зі зразками, що контролюються, не розглянуто безконтактні методи контролю слабких електролітів засновані на простих алгоритмах вимірювальних та розрахункових процедур, не розглянуто особливості контролю фізико-хімічних характеристик емульсій та суспензій, які утворюються внаслідок викидів відходів виробництв кислот та лугів.

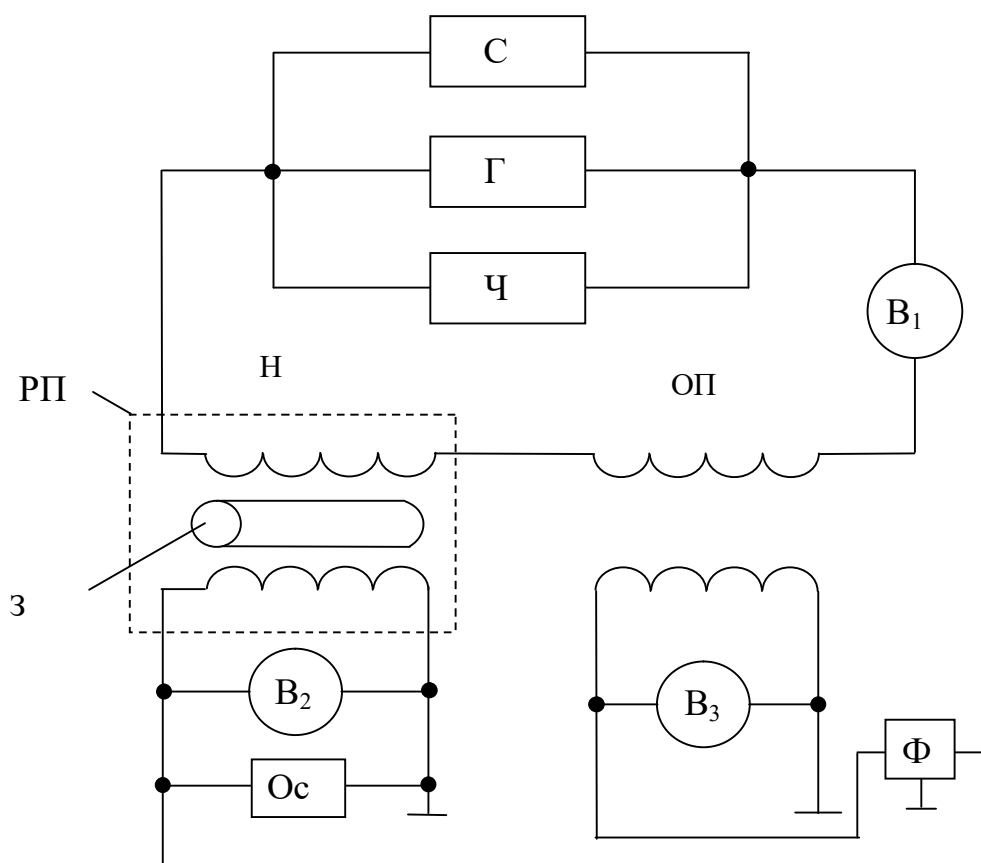


Рисунок 1 – Схема ТВП для сумісного двопараметрового вихорострумовеого контролю зразка пивних стоків

З урахуванням результатів робіт [15–17] на рис.1, наведено схему ТВП зі зразком пивного стоку. Схема містить до себе самопис – С, генератор – Г, частотомір – Ч, робочий перетворювач – РП, опорний перетворювач – ОП, вольтметри – V_1 , V_2 і V_3 , осцилограф – Ос, фазометр – Ф. ОП має ідентичне з РП число витків, довжину l та радіус $a_{п.}$ Збуджуюча котушка призначена для створення електромагнітного поля та внаслідок цього вихрових струмів у зразку рідини (який розташовано у скляній пробниці), у свою чергу, вимірювальна котушка призначена для вимірювання ЕРС E_{2t} , яка наводиться сумарним магнітним потоком, що проходить безпосередньо у зразку. Для контролю форми намагнічувального струму та напруги джерела змінного струму генератора Г застосову-

ють самопис – С, частоту змінення струму фіксує вимірювач частоти – Ч. За допомогою вимірювача напруги V_2 , визначають ЕРС E_{2t} , яка залежить від температури рідини, при цьому одночасно осцилографом ОС визначають форму цієї ж ЕРС. Таким чином, вимірювач напруги V_2 , свій вихідний сигнал подає на один вхід вимірювача фазового кута зсуву – Ф, опорну ЕРС E_0 вимірюють за допомогою вольтметра V_3 , вхід ОП з'єднується з іншим входом Ф. За допомогою фазометра Ф визначають залежний від температури фазовий кут зсуву φ_{2t} поміж ЕРС E_0 та ЕРС E_{2t} ТВП. У даному випадку сигнали ТВП (E_{2t} та φ_{2t}) залежать від температури t зразка рідини. Задля імітації виробничих умов та підвищення точності вимірювань інформативних параметрів, схема передбачає нагрівання зразка в процесі контролю за допомогою нагрівача – Н.

Таким чином, основна ідея цієї реалізації полягає в тому, що в сигналах ТВП є інформація про такі термозалежні параметри, як питома електрична провідність χ (або про k – питомий електричний опір, $k = 1/\chi$) і про температуру t зразка слабкого електроліту. При цьому, якщо ввести спеціальний нормований магнітний параметр G і фазовий кут зсуву φ між опорним магнітним потоком і магнітним потоком в зразку рідини, то можна в значній мірі спростити реалізацію багатопараметрового вихорострумowego методу контролю фізико-хімічних параметрів зразка слабких електролітів (в даному випадку проби пивних стоків). Алгоритм реалізації двопараметрового безконтактного вихорострумowego методу контролю параметрів зразка пивних стоків полягає у наступному. Спочатку, знаходять робочу точку на універсальній функції перетворення теплового ТВП зі зразком рідини $G_t = f(A_t)$, тобто $A_t = A_1$, де A_1 значення узагальненого параметра, яке відповідає початковій температурі виробу t_1 . Для цього встановлюють генератором довільну частоту магнітного поля f і вимірюють компоненти сигналів теплового ТВП E_Σ , E_0 і φ_0 . Потім знаходять значення паразитної ЕРС E_1 [16, 17]:

$$E_1 = E_0(1 - \eta), \quad (1)$$

де η – коефіцієнт заповнення перетворювача скляною трубкою зі зразком рідини.

Після цього, з урахуванням вимірних значень E_Σ , φ_0 і розрахованої величини E_1 , визначають ЕРС E_2 , обумовлену проходженням магнітного потоку в зразку рідини при початковій температурі.

$$E_{2t} = \sqrt{(E_{\Sigma t} \cos \varphi_0 - E_1)^2 + (E_{\Sigma t} \sin \varphi_0)^2}, \quad (2)$$

де φ_0 – фазовий кут зсуву поміж ЕРС E_0 та ЕРС E_{2t} .

Далі знаходять питомий нормований параметр G_1 , за формулою

$$G_1 = \frac{E_{2t}}{E_1}(1 - \eta). \quad (3)$$

Знаючи G_1 , на основі отриманої залежності G_t від A_t (див. табл. 1), знаходять значення робочої точки A_1 при вимкненому нагрівачі. Якщо це значення потрапляє в діапазон найбільшої крутизни характеристики (найбільшої чутливості ТВП до фізико-хімічних параметрів зразка), то залишають встановлену раніше частоту f , якщо отримане значення A_1 не задовольняє вказаному діапазону, то змінюють частоту магнітного

поля і виконують цю процедуру до тих пір, поки знайдене значення A_1 не опиниться в необхідному діапазоні. Після цього нагрівають зразок стічної води до конкретних значень температури t з досліджуваного температурного діапазону. Далі вимірюють $E_{\Sigma t}$, E_0 і φ_{0t} і знаходять компоненти сигналів теплового ТВП E_{2t} , G_t і A_t , виконуючи розглянуту вище процедуру.

В табл. 1 наведено отримані залежності питомого нормованого параметра ТВП G_t від узагальненого параметру A_t та фазового кута зсуву φ_{2t} .

Таблиця 1 – Залежності нормованих параметрів G_t та φ_{2t} від узагальненого параметра A_t теплового ТВП зі зразком кислого стока, який піддається нагріванню у процесі контролю

φ_{2t} , град	G_t	A_t
6,47	0,9893	0,96
6,65	0,9886	0,97
6,84	0,9872	0,99
6,91	0,9865	1,01
7,20	0,9853	1,02
7,45	0,9844	1,03
7,74	0,9831	1,05
8,01	0,9820	1,07

З урахуванням [1], технологічний процес виготовлення пива має наступні етапи:

1. Промивання солоду від домішок і бруду.
2. Подрібнення солоду до стану крупи.
3. Процес затирання солоду. Для затирання солоду рекомендуються наступні температурні паузи:
 - а) Пауза 35 °С створює умови для появи стійкої піни, 15–20 хвилин.
 - б) Пауза (55–59) °С – нормальна білкова пауза (яка не ушкоджує піну), від 30 хвилин.
 - в) Пауза 62 °С – перехідна пауза, пауза витримки продукту, 15–20 хвилин.
 - г) Пауза (63–70) °С – це пауза оцукрювання, від 1–15 хвилин.
 - д) Пауза (71–73) °С – дооцукрення, для підсилення «солодування», від 20 до 60 хвилин, задля отримання бажаного ефекту.
 - ж) Пауза (75–78) °С – «інактивування» закінчення затирання, від 1,5 до 15 хвилин.
 Запропоновані температурні паузи, дозволяють отримати якісні органолептичні показники готової продукції пивоваріння та призводять до підвищення pH кислих стічних вод.
4. Фільтрація сусла.
5. Варка і охмеління в суслварочному котлі.
6. Охолодження сусла у чилері-змівіку до температури $t = 20^\circ\text{C}$.
7. Насичення сусла киснем для кращого бродіння.

- 8). Зброджування сусла.
9. Карбонізація молодого пива (насичення вуглекислим газом).
10. Розлив готового продукту.

Розглядаючи міні-пивоварню відповідно до прийнятої схеми [1], необхідно відзначити, що стічні води по черзі матимуть то кислий, то лужний склад зі завислими речовинами. Було зроблено кілька відборів проб стічної води, на різних стадіях. Після відповідних досліджень, виявлено утворення кислого стоку після затирання і варіння сусла у суслварочному котлі. При цьому, в процесі очищення стічних вод і перед скиданням їх в міську каналізацію для раціонального використання реагентів і досягнення допустимого відхилення від нейтральності середовища pH на виході з накопичувальної ємності кислі і лужні води, слід приймати на обробку окремо – здійснюючи контроль χ_t і рівня pH . Це пояснюється тим, що і кислі, і лужні стоки надходять нерівномірно і з різними значеннями показника pH . У загальному випадку для нейтралізації в кислій воді додають лужні реагенти на основі алюмінатів $mCaO \cdot nAl_2O_3$ і силікатів кальцію $CaSiO_3$, вони використовуються для зв'язування іонів водню, що утворюються в результаті гідролізу коагулянтів на основі кислих солей [2, 3]. При цьому, задля удосконалення процесу очищення рекомендується додавання магнітної рідини на одному зі заключних етапів фільтрації, магнітна рідина за рахунок взаємодії з пробєю стічної води, що контролюється, перетворюється у слабомагнітну, далі застосовують процес сепарації в результаті якого видаляється фракція, яка містить забруднювачі та потім стічна вода надходить до фільтру доочищення.

Таким чином, при зондуванні зразка стічних вод магнітним полем з частотою f_t , узагальнений параметр A_t визначають за формулою

$$A_t = a \sqrt{2\pi \cdot \mu_0 \cdot f_t \cdot \chi_t}, \quad (4)$$

де a – радіус зразка, μ_0 – магнітна стала, f – частота магнітного поля, χ_t – питома електрична провідність зразка.

Знаючи узагальнений параметр A_t , знаходимо питому електричну провідність χ_t та температуру t зразка кислого стоку

$$\chi_t = \frac{x_t^2 \cdot E_1 \cdot G_t}{\mu_0 \cdot (1 - \eta) \cdot 2\pi \cdot f \cdot E_2 \cdot a^2}, \quad (5)$$

$$t = \left(\frac{x_t^2}{x_1^2} - 1 \right) \cdot \left(\frac{1 + \alpha \cdot t_1}{\alpha} \right) + t_1, \quad (6)$$

де α – температурний коефіцієнт опору, який визначають експериментально; t_1 – початкова температура зразка.

В табл. 2, наведено результати визначення електричних та температурних параметрів зразка кислого пивного стоку, а також нормованих параметрів теплового ТВП.

Таким чином, досліджено метод двопараметрового вимірювального контролю електричних та температурних параметрів зразка кислого стоку, який утворюється при реалізації процесу пивоваріння, надано рекомендації стосовно підвищення якості готового продукту шляхом підтримання конкретних температурних пауз в технологічному

процесі пивоваріння під час затирання солоду, а також рекомендації стосовно удосконалення процесу очищення зразка стічних вод за рахунок додавання магнітної рідини на заключних етапах процесу очищення.

Таблиця 2 – Результати визначення електричних та температурних параметрів зразка стічних вод

$t, ^\circ\text{C}$	$\chi \cdot 10^{-1}, \text{См/м}$	$\varphi_{2t}, \text{град}$	G_t	A_t	$t', ^\circ\text{C}$	$\chi'_{t'} \cdot 10^{-1}, \text{См/м}$
15,39	9,29	6,5286	0,9892	0,9600	15	9,27
17,12	9,61	6,7964	0,9884	0,9771	17	9,63
18,95	9,92	6,9734	0,9876	0,9929	19	9,95
20,98	10,24	7,1899	0,9868	1,0086	21	10,23
23,02	10,55	7,4035	0,9860	1,0241	23	10,55
24,98	10,86	7,6182	0,9852	1,0403	25	10,87
27,01	11,18	7,8304	0,9844	1,0542	27	11,19
29,20	11,49	8,0491	0,9835	1,0691	29	11,51
21,27	11,81	8,2538	0,9826	1,0830	31	11,83
32,87	12,12	8,4608	0,9818	1,0972	33	12,10
35,40	12,44	8,6852	0,9808	1,1123	35	12,46

Висновки. Таким чином, дану статтю присвячено визначенню основних завдань та конкретизації шляхів розв'язання важливої науково-практичної проблеми, яка полягає у зменшенні антропогенного навантаження за рахунок моделювання пов'язаних з ним процесів руйнування природного середовища районів великих міст, в яких розташовані виробництва пивоварної галузі при реалізації перспективних методів очищення на основі попереднього вимірювального контролю фізико-хімічних характеристик зразків пивних стоків кислого та лужного походження.

В рамках поставлених завдань досліджено інформативний метод сумісних вимірювань питомої електричної провідності χ та температури t зразка пивних стоків кислого походження на основі трансформаторного вихорострумowego перетворювача ТВП. Наведено алгоритми моделювання процесу вимірювань питомої електричної провідності χ та температури t зразка за допомогою ТВП. Отримано співвідношення для визначення електричної провідності χ і температури t зразка стічних вод. Надано рекомендації стосовно підвищення якості готового продукту шляхом підтримання конкретних температурних пауз в технологічному процесі пивоваріння під час затирання солоду, а також рекомендації стосовно удосконалення процесу очищення зразка стічних вод за рахунок додавання магнітної рідини на заключних етапах процесу очищення.

Науковою новизною роботи є запропонований інформативний безконтактний вихорострумований метод двопараметрового контролю зразка пивних стоків на основі трансформаторного вихорострумowego перетворювача ТВП, завдяки реалізації котрого

є можливим обирати методи очищення пивних стоків, які утворюються на різних стадіях виробництва продукції пивоваріння.

Практичним значенням роботи є визначення метрологічних характеристик вихорострумового перетворювача, межі змінення яких відповідають діапазонам змінення електричних та температурних параметрів зразка кислого стока.

Перспективи подальших досліджень, полягають у створенні нових методів та пристроїв очищення пивних стоків лужного та кислого походження, на основі методів попереднього інформативного контролю фізико-хімічних характеристик пивних стоків та застосування в пристроях очищення слабомагнітних рідин на стадіях доочищення.

Література

1. Мелетьєв А., Романова З., Бартош Г., Тертиці С. Асортимент і біологічна цінність пива. Київ. Харчова і переробна промисловість, 2010. № 1. С. 23–25.
2. Савчук Л.В., Курилець О.Г., Оленич Р.Р. Шляхи зменшення негативного впливу стічних вод пивзаводів на довкілля. Вісник НУ „Львівська політехніка”. №787, 2014. С. 95–99.
3. Мальований М.С., Санніков М.І., Одноріг З.С. Методи збільшення обмінної ємності природних дисперсних сорбентів для застосування їх в технологіях очищення промислових стоків та в харчових технологіях. Праці науково–технічної конф. «Екологія та здоров'я людини. Охорона водного та повітряного басейнів. Утилізація відходів». Харків, 2000. С. 617–619.
4. Мідик І.М. Оцінка якості продукції овочівництва за електричними характеристиками. Технологічний аудит та резерви виробництва. Харків. № 3/2(29), 2016. С. 30–35.
5. Брицун В.М., Останіна Н.В. Особливості кондуктометричного контролю якості дистильованої води для фармакопейних потреб. Фармакологія та лікарська токсикологія, № 2 (58)/2018. С. 97–103.
6. Міхалева М.С. Результати експериментальних досліджень модельних водних розчинів новим електричним імпедансним методом // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія Автоматика, вимірювання та керування, 2010. № 665. С. 169–173.
7. Яцишин А.В., Попов О.О., Артемчук В.О. Методи вимірювання параметрів навколишнього природного середовища. Харків. Вісник НТУ “ХПІ», 2014. №40 (1083). С. 130–137.
8. Abimbola M. Enitan, Josiah Adeyemo, Sheena Kumari, Feroz M. Swalaha, Faizal Bux Characterization of Brewery Wastewater Composition World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Environmental and Ecological Engineering, 2015. № 9. P. 1073–1076.
9. Rahier G. and Hermia J. Clarification and stabilization of beer with a regenerative adjuvant, *Cerevisia*, 26(4), 2001. P. 204–209.
10. Kuiper S, van Rijn C, Nijdam W, Raspe O, van Wolferen H, Krijnen G, Elwenspoek M. Filtration of lager beer with microsieves: flux permeate haze and in-line microscope observation. *Journal of Membrane Science*, 2002. P. 159–170.

11. Geoffrey S. Simate, Sunny E. Iyuke, Evans T. Musapatika, Sehliselo Ndlovu, Lubinda F. Walubita, Alex E. Alvarez. The treatment of brewery wastewater for reuse: State of the art, 2011. G.S. Simate et al. №9. P. 237–247.
12. Luc Fillaudeau, Pascal Blanpain-Avet, Georges Daufin. Water, wastewater and waste management in brewing industries. Elsevier. Journal of Cleaner Production Vol. 14, Issue 5, 2006. P. 463–471.
13. Stefan Schaltegger, Tobias Viere, Dimitar Zvezdov. Tapping environmental accounting potential of beer brewing: Information needs for successful cleaner production. Elsevier. Journal of Cleaner Production, 2012. P. 1–10
14. Schuurman R, Broens L, Mepschen A. Membrane beer filtration: an alternative way of beer filtration. MBAA Technical Quarterly, 2003. 40(3): P. 189–192.
15. Масвський С.М., Серий К.М. Фізичні методи та засоби контролю середовищ, матеріалів та виробів. Львів. Видавництво Фізико-механічного інституту ім. Карпенка, 2011. 116 с.
16. Себко В.В., Здоренко В.Г., Петухова Е.О., Минкова А. К. Автоматизація вимірювального контролю температури проби харчового барвника// Вісник Київського національного університету технологій та дизайну, 2015. №4 (88). С. 49–57.
17. Себко В.В., Здоренко В.Г. Метод неруйнівного контролю зразка водного розчину адипінової кислоти. Вісник Київського національного університету технологій та дизайну, 2016. №1 (94). С. 121–127.

Bibliography (transliterated)

1. Melet'ev A., Romanova Z., Bartosh G., Tertici S. Assortiment i biologichna cinnist' piva. Kii'v. Harchova i pererobna promislovist', 2010. № 1. P. 23–25.
2. Savchuk L.V., Kurilec' O.G., Olenich R.R. Shlyahi zmeshennya negativnogo vplivu stichnih vod pivzavodiv na dovkillya. Visnik NU „L'vivs'ka politekhnikha”. №787, 2014. P. 95–99.
3. Mal'ovaniy M.S., Sannikov M.I., Odnorig Z.S. Metodi zbil'shennya obminnoï emnosti prirodni' dispersni' sorbentiv dlya zastosuvannya ih v tekhnologiyah ochishchennya promislovi' stokiv ta v harchovih tekhnologiyah. Praci naukovu–tekhnichnoï konf. «Ekologiya ta zdorov'ya lyudini. Ohorona vodnogo ta povitryanogo basejniv. Utilizaciya vidhodiv». Harkiv, 2000. P. 617–619.
4. Midik I.M. Ocinka yakosti produkciï ovochivnictva za elektrichnimi harakteristikami. Tekhnologichnij audit ta rezervi virobnictva. Harkiv. № 3/2(29), 2016. P. 30–35.
5. Bricun V.M., Ostanina N.V. Osoblivosti konduktometrichnogo kontrolyu yakosti distil'ovanoï vodi dlya farmakopejni' potreb. Farmakologiya ta likars'ka toksikologiya, № 2 (58)/2018. P. 97–103.
6. Mihaleva M.S. Rezul'tati eksperimental'ni' doslidzhen' model'ni' vodni' rozchiniv novim elektrichnim impedansnim metodom // Visnik Nacional'nogo universi-tetu «L'vivs'ka politekhnikha». Seriya Avtomatika, vimiryuvannya ta keruvannya, 2010. № 665. P. 169–173.
7. Yacishin A.V., Popov O.O., Artemchuk V.O. Metodi vimiryuvannya parametriv navkolishn'ogo prirodnogo seredovishcha. Harkiv. Visnik NTU “HPI», 2014. №40 (1083). P. 130–137.
8. Abimbola M. Enitan, Josiah Adeyemo, Sheena Kumari, Feroz M. Swalaha, Faizal Bux. Characterization of Brewery Wastewater Composition World Academy of Science, En-

gineering and Technology International Journal of Environmental and Ecological Engineer-ing, 2015. № 9. P. 1073–1076.

9. Rahier G. and Hermia J. Clarification and stabilization of beer with a regenerative adjuvant, *Cerevisia*, 26(4), 2001. P. 204–209.

10. Kuiper S, van Rijn C, Nijdam W, Raspe O, van Wolferen H, Krijnen G, Elwenspoek M. Filtration of lager beer with microsieves: flux permeate haze and in-line microscope observation. *Journal of Membrane Science*, 2002. P. 159–170.

11. Geoffrey S. Simate, Sunny E. Iyuke, Evans T. Musapatika, Sehliselo Ndlovu, Lubinda F. Walubita, Alex E. Alvarez The treatment of brewery wastewater for reuse: State of the art, 2011. G.S. Simate et al. №9. P. 237–247.

12. Luc Fillaudeau, Pascal Blanpain-Avet, Georges Daufin. Water, wastewater and waste management in brewing industries. Elsevier. *Journal of Cleaner Production* Vol. 14, Issue 5, 2006. P. 463–471.

13. Stefan Schaltegger, Tobias Viere, Dimitar Zvezdov Tapping environmental accounting potential of beer brewing: Information needs for successful cleaner production. Elsevier. *Journal of Cleaner Production*, 2012. P. 1–10.

14. Schuurman R, Broens L, Mepschen A. Membrane beer filtration: an alternative way of beer filtration. *MBAA Technical Quarterly*, 2003. 40(3): P. 189–192.

15. Maevs'kij S.M., Serij K.M. Fizichni metodi ta zasobi kontrolyu seredovishch, materialiv ta virobiv. L'viv. Vidavnistvo Fiziko-mekhanichnogo instituta im. Karpenka, 2011. 116 p.

16. Sebko V.V., Zdorenko V.G., Petuhova E.O., Minkova A. K. Avtomatizaciya vimiryuval'nogo kontrolyu temperaturi probi harchovogo barvnika// *Visnik Kiïvs'kogo nacional'nogo universitetu tekhnologij ta dizajnu*, 2015. №4 (88). P. 49–57.

17. Sebko V.V., Zdorenko V.G. Metod nerujnivnogo kontrolyu zrazka vodnogo rozchinu adipinovoï kisloti. *Visnik Kiïvs'kogo nacional'nogo universitetu tekhnologij ta dizajnu*, 2016. №1 (94). P. 121–127.

УДК 504.064.38; 504.064.37

Пироженко Є.В., Себко В.В., Здоренко В.Г., Бабенко В.М., Горбунова О.В.

СУМІСНИЙ ВИМІРЮВАЛЬНИЙ КОНТРОЛЬ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЗРАЗКА ПИВНИХ СТОКІВ

Запропоновано інформативний двопараметровий безконтактний вихорострум-вий метод вимірювального контролю питомої електричної провідності χ та температури t зразка пивних стоків. Наведено основні співвідношення, які описують роботу теплового трансформаторного вихорострум-ового перетворювача (ТВП) з пробницею кислих стічних вод, що контролюється. Надано схему включення теплового ТВП зі зразком рідини, який розташований у скляній пробниці, схема передбачає нагрівання зразка рідини у процесі двопараметрового контролю (за допомогою нагрівача, який розташований у робочому перетворювачі), для імітації виробничих умов пивоварного виробництва. Отримано нові універсальні функції перетворення, які пов'язують компоненти сигналів теплового вихорострум-ового перетворювача з питомою електричною провідністю

χ_t та температурою t зразка кислих стічних вод пивоварного виробництва, а саме залежності питомого нормованого магнітного потоку G_t від узагальненого магнітного параметра A та залежності G_t від фазового кута зсуву φ_{2t} . Одержані чисельні данні, надають змогу стверджувати про узгодження результатів вимірювань електричних та температурних параметрів контрольними методами та запропонованим двопараметровим вихорострумовим методом, на основі якого здійснюється вибір методу очищення стічних вод пивоварного виробництва. Діапазон змінення питомої електричної провідності χ_t складає від 9,29 См/м до 12,44 См/м в досліджуваному температурному діапазоні. Для підвищення якості готового продукту, надано рекомендації стосовно температурних пауз, які застосовують на стадії технологічного процесу, що полягає у затиранні солоду, а саме пауза 35 °С створює умови для появи стійкої піни та триває 15–20 хвилин; пауза (55–59) °С – нормальна білкова пауза (яка не ушкоджує піну), триває від 30 хвилин; пауза 62 °С – перехідна пауза, пауза витримки продукту, триває 15–20 хвилин; пауза (63–70) °С – це пауза оцукрювання, триває від 1–15 хвилин; пауза (71–73) °С – дооцукрення, для підсилення «солодування», від 20 до 60 хвилин, пауза (75–78) °С – «інактивування» закінчення затирання, триває від 1,5 до 15 хвилин.

Запропоновані температурні паузи, дозволяють отримати якісні органолептичні показники готової продукції пивоваріння та призводять до підвищення pH кислих стічних вод. Визначено нормовані характеристики вихорострумового перетворювача, тобто параметри G_t і A (при різних значеннях температури t) межі змінення яких відповідають діапазонам змінення електричних та температурних параметрів зразка кислих стічних вод. При цьому, задля удосконалення процесу очищення рекомендується додавання магнітної рідини на одному із заключних етапів фільтрації, магнітна рідина за рахунок взаємодії з пробною стічною водою перетворюється у слабomagнітну, далі застосовують процес сепарації в результаті якого видаляється фракція, яка містить забруднювач та стічна вода надходить до фільтру доочищення.

Ключеві слова: техноекологія, виробництво пива, методи очищення, інформативний метод, кислі стічні води, фільтр, сумісний контроль, питома електрична провідність, температура.

Пироженко Е.В., Себко В.В., Здоренко В.Г., Бабенко В.М., Горбунова О.В.

СОВМЕСТНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОБРАЗЦА ПИВНЫХ СТОКОВ

Предложен информативный двухпараметровый безконтактный вихретоковый метод измерительного контроля удельной электрической проводимости χ и температуры t образца пивных стоков. Приведены основные соотношения, описывающие работу теплового трансформаторного вихретокового преобразователя (ТВП) с контролируемой пробой кислых сточных вод. Рассмотрена схема включения теплового ТВП с образцом жидкости, который помещен в стеклянную трубку, схема предусматривает нагрев образца жидкости в процессе двухпараметрового контроля (с помощью нагревателя, который размещен в рабочем преобразователе), для имитации производственных условий пивоваренного производства. Получены новые универсальные функции преобразования, которые связывают компоненты сигналов ТВП с удельной электрической проводимостью χ_t и температурой t образца кислых сточных вод пивоваренного производ-

ства, т.е. зависимости удельного нормированного магнитного потока G_t от обобщенного магнитного параметра A и зависимости G_t от фазового угла сдвига φ_{2t} . Численные значения электрических и температурных параметров дают возможность утверждать о согласовании результатов измерений при реализации предложенного двухпараметрового вихретокового метода с контрольными методами. Диапазон изменения удельной электрической проводимости χ_t составляет от 9,29 См/м до 12,44 См/м в исследуемом температурном диапазоне. Для повышения качества готового продукта, даны рекомендации относительно температурных пауз, применяемых на стадии технологического процесса, который заключается в затираании солода, а именно пауза 35 °С создает условия для появления устойчивой пены и длится 15–20 минут; пауза (55–59) °С – нормальная белковая пауза (которая не повреждает пену), длится от 30 минут; пауза 62 °С – переходная пауза, пауза выдержки продукта, длится 15–20 минут; пауза (63–70) °С – это пауза осахаривания, длится от 1–15 минут; пауза (71–73) °С – доосахаривания для усиления «соложения», от 20 до 60 минут, пауза (75–78) °С – «окончания активации», окончание затираания, длится от 1,5 до 15 минут. Предложенные температурные паузы, позволяют получить качественные органолептические показатели готовой продукции пивоварения. Определены нормированные характеристики вихретокового преобразователя, т.е. параметры G_t и A_t (при различных значениях температуры t), границы изменения которых соответствуют диапазонам изменения электрических и температурных параметров образца кислых сточных вод. При этом для усовершенствования процесса очистки рекомендуется добавление магнитной жидкости на одном из заключительных этапов фильтрации, магнитная жидкость за счет взаимодействия с пробой сточной воды превращается в слабомагнитную, далее применяют процесс сепарации в результате которого удаляется фракция содержащая загрязнитель и сточная вода поступает в фильтр доочистки.

Ключевые слова: техноэкология, производство пива, методы очистки, информативный метод, кислые сточные воды, фильтр, совместный контроль, электропроводность, температура.

Pirozhenko E.V., Sebko V.V., Zdorenko V.G., Babenko V.M., Gorbunova O.V.

JOINT MEASURING CONTROL OF PHYSICO-CHEMICAL PARAMETERS OF A SAMPLE BEER RUNOFF

An informative two-parameter contactless eddy current method for measuring control of the specific electrical conductivity χ and temperature t of a sample of beer drains is proposed. The basic relationships describing the operation of a thermal transformer eddy-current converter (TVP) with a controlled sample of acidic wastewater are presented. A diagram of the inclusion of a thermal TVP with a liquid sample, which is placed in a glass tube, is given; the scheme provides for the heating of a liquid sample in the process of two-parameter control (with the help of a heater, which is located in a working transducer), to simulate the production conditions of brewing production. New universal transformation functions that relate the signal components of the thermal eddy-current transducer with the specific electrical conductivity χ_t and the temperature t of a sample of acidic wastewater from brewing production, namely, the dependence of the specific normalized magnetic flux G_t on the generalized magnetic parameter have been obtained A and the dependence of G_t on the phase shift angle φ_{2t} .

The obtained numerical values make it possible to assert the agreement of the results of measurements of electrical and temperature parameters by control methods and the proposed two-parameter eddy current method, on the basis of which the choice of a method for purifying wastewater from brewing production is carried out. The range of change in specific electrical conductivity χ_t is from 9,29 Cm / m to 12,44 Cm / m in the investigated temperature range. To improve the quality of the finished product, recommendations are given regarding temperature pauses, which are used at the stage of the technological process, which consists in mashing the malt, namely, a pause of 35 °C creates conditions for the appearance of a stable foam and lasts 15–20 minutes; pause (55–59) °C – normal protein pause (which does not damage the foam), lasts from 30 minutes; a pause of 62 °C – a transitional pause, a pause for holding the product, lasts 15–20 minutes; pause (63–70) °C – this is a pause of saccharification, lasts from 1–15 minutes; pause (71–73) °C – additional saccharification, to enhance “malting”, from 20 to 60 minutes, pause (75–78) °C – “end of activation”, end of mashing, lasts from 1.5 to 15 minutes. The proposed temperature pauses make it possible to obtain high-quality organoleptic indicators of finished brewing products and lead to an increase in the pH of acidic wastewater. The normalized characteristics of the eddy current transducer have been determined, that is, the parameters G_i and A (at different values of temperature t), the boundaries of which correspond to the ranges of changes in the electrical and temperature parameters of the acidic wastewater sample. At the same time, to improve the purification process, it is recommended to add magnetic fluid at one of the final stages of filtration, the magnetic fluid, due to interaction with the waste water sample, turns into weakly magnetic, then a separation process is applied, as a result of which the fraction containing the pollutant is removed and the waste water enters the post-treatment filter.

Keywords: techno-ecology, beer production, purification methods, informative method, acidic waste water, filter, joint control, electrical conductivity, temperature.