

*Є.В. ПИРОЖЕНКО***КОМБІНОВАНИЙ МЕТОД ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД ПИВОВАРНОГО ПІДПРИЄМСТВА МАЛОЇ ПОТУЖНОСТІ**

За допомогою запропонованої схеми включення ЕВП, досліджено метод сумісних вимірювань статичних характеристик магнітної рідини: питомої електричної провідності χ , магнітної сприйнятливості k , і температури t магнітної рідини, яку рекомендується застосовувати задля очищення стічних вод пивоварних підприємств. Розроблено комбінований метод очищення та удосконалено відповідну технологічну схему, котра передбачає разом з використанням механічних пристроїв очищення, застосування для омагнічування зразків стічної води додаткового фільтру, який включає до себе спеціальну зону для введення попередньо розрахованої магнітної рідини. Таким чином, у процесі очищення стічних вод міні-пивоварні запропонованим комбінованим методом, після застосування методів попереднього механічного очищення, використовують взаємодію стічної води та магнітної рідини: після інтенсивного перемішування суміші крапельки магнітної рідини розчиняються в забрудненнях та утворюється слабомагнітна рідина, яка надходить на магнітний сепаратор задля подальшого очищення. Знайдено раціональне співвідношення стічна вода: магнітна рідина (СВ:МР), СВ:МР = $8,7 \cdot 10^{-3}$: 1. Порівняння даних отриманих за допомогою інформативних методів з даними наведеними у нормативних документах, свідчать про ефективність запропонованого комбінованого методу очищення пивних стоків стосовно норм водовідведення у міську каналізацію, а саме водневий показник рН зменшується в результаті очищення на 34,6%, ХСК в 7,14 рази, БСК₅ в 1,52 рази, зважені речовини в 1,52 рази, катіони кальцію Ca²⁺ в 1,53 рази, катіони магнію Mg²⁺ в 1,51 рази, загальна жорсткість dH в 1,64 рази, карбонатна жорсткість КН в 1,86 рази.

Ключові слова: магнітна рідина, статичні характеристики, електромагнітний вихорострумний перетворювач, сумісний вимірювальний контроль, комбінований метод очищення, омагнічування, додатковий фільтр, перемішування суміші, слабомагнітна рідина, процес сепарації, раціональне співвідношення.

*Е.В. ПИРОЖЕНКО***КОМБИНИРОВАННЫЙ МЕТОД ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПИВОВАРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ МАЛОЙ МОЩНОСТИ**

С помощью предложенной схемы включения ЭВП, исследован метод совместных измерений статических характеристик магнитной жидкости: удельной электрической проводимости t , магнитной восприимчивости k , и температуры t магнитной жидкости, которую рекомендуется применять для очистки сточных вод пивоваренных предприятий. Разработан комбинированный метод очистки и усовершенствована соответствующая технологическая схема, которая предусматривает вместе с использованием механических устройств очистки применение для омагничивания образцов сточной воды дополнительного фильтра, который включает в себя специальную зону для введения предварительно рассчитанной магнитной жидкости. Таким образом, в процессе очистки сточных вод мини-пивоварни предложенным комбинированным методом после применения методов предварительной механической очистки, используют взаимодействие сточной воды и магнитной жидкости: после интенсивного перемешивания смеси капельки магнитной жидкости растворяются в загрязнениях и образуется слабомагнитная жидкость, поступающая на магнитный сепаратор для последующей очистки. Найдено рациональное соотношение сточная вода: магнитная жидкость (СВ:МЖ), СВ:МЖ = $8,7 \cdot 10^{-3}$: 1. Сравнение данных, полученных с помощью информативных методов с данными приведенными в нормативных документах, свидетельствуют об эффективности предлагаемого комбинированного метода очистки пивных стоков по нормам водоотведения в городскую канализацию, а именно водородный показатель рН уменьшается в результате очистки на 34,6%, ХСК в 7,14 раза, БСК₅ в 1,52 раза, взвешенные вещества в 1,52 раза, катионы кальция Ca²⁺ в 1,53 раза, катионы магния Mg²⁺ в 1,51 раза, общая жесткость dH в 1,64 раза, карбонатная жесткость КН в 1,86 раза.

Ключевые слова: магнитная жидкость, статические характеристики, электромагнитный вихреструйный преобразователь, совместимый измерительный контроль, комбинированный метод очистки, омагничивание, дополнительный фильтр, перемешивание смеси, слабомагнитная жидкость, процесс сепарации, рациональное соотношение.

*Y. PYROZHENKO***COMBINED METHOD OF WASTEWATER TREATMENT OF A SMALL-CAPACITY BREWERY**

With the help of the proposed circuit of EMT, the method of simultaneous measurements of the static characteristics of the magnetic fluid: specific electrical conductivity χ , magnetic susceptibility k , and temperature t of the magnetic fluid, which is recommended to be used for wastewater treatment of breweries, was investigated. A combined method of cleaning has been developed and the appropriate technological scheme has been improved, which provides, together with the use of mechanical cleaning devices, the use of an additional filter for magnetizing wastewater samples, which includes a special zone for the introduction of a pre-calculated magnetic liquid. Thus, in the process of wastewater treatment, mini-breweries using the proposed combined method, after applying methods of pre mechanical cleaning, use the wastewater interaction and the magnetic fluid: after intensive stirring of the mixture, the droplets of magnetic fluid dissolve in impurities and a weakly magnetic fluid is formed, which enters the magnetic separator for further cleaning. A rational ratio of wastewater: magnetic fluid (WW:MF), WW:MF = $8,7 \cdot 10^{-3}$: 1 was found. A comparison of the data obtained using informative methods with the data given in the regulatory documents witness the effectiveness of the proposed combined method of beer wastewater treatment in relation to the norms of water discharge into the city sewer, namely, the hydrogen pH indicator decreases as a result of the treatment by 34.6%, COD by 7.14 times, BOD₅ by 1.52 times, suspended substances by 1.52 times, calcium cations Ca²⁺ by 1.53 times, magnesium cations Mg²⁺ by 1.51 times, total hardness dH by 1.64 times, carbonate hardness KH by 1,86 times.

Key words: magnetic fluid, static characteristics, electromagnetic eddy current converter, compatible measuring control, combined method of cleaning, magnetization, additional filter, mixing of the mixture, weakly magnetic fluid, separation process, rational ratio.

Вступ

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, що скидаються у міську каналізацію нормативним документам, а також у вивченні ефективності природоохоронних заходів задля їхнього застосування у районах населених пунктів. При цьому, в результаті переробки сировини та отримання на виході готової продукції, виробник та споживач здійснюють негативний вплив на навколишнє середовище [1-4]. Стічні води пивоварних виробництв, що надходять на очисні споруди, утворюються на різних стадіях виробничого процесу (затирання солоду, бродіння, кип'ятіння, фільтрація та ін.). Розглядаючи міні-пивоварню відповідно до існуючих схем [5, 6], необхідно відзначити, що стічні води по черзі матимуть то кислий, то лужний склад зі завислими речовинами. Після відповідних досліджень, виявлено утворення кислого стоку після затирання і варіння суслу в сусловарному котлі. Лужний сток утворюється після отримання готового продукту з утворенням органічного осаду. 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 накопичувальних ємностей кислі і лужні води, слід приймати на обробку окремо, здійснюючи вимірювальний контроль фізико-хімічних параметрів зразків на основі реалізації інформативних багатопараметрових методів [7-9]. 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 [10, 11]. Для лужних стічних вод використовують нейтралізацію мінеральними кислотами (сірчана H_2SO_4 , соляна HCl , азотна HNO_3) [10, 11].

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 раціональних методів очищення.

Слід визначити, що в даний час особливий інтерес для очищення стічних вод харчових виробництв мають магнітні рідини, які являють собою однорідну суспензію частинок магнетиту на водній основі стабі-

лізовану олеїною кислотою, перевагами цих рідин є те що вони являються найбільш стійкими і можуть тривалий час зберігати однорідність та магнітні властивості [12-14]. Дисперсною фазою магнітних рідин є частинки фериту, у якості основи магнітних рідин застосовують воду, а у якості стабілізатора, який перешкоджає злипанню частинок магнетиту, застосовують олеїнову кислоту [12-14].

Метою роботи є дослідження комбінованого методу очищення та удосконалення відповідної технологічної схеми, на основі застосування додаткового фільтру доочищення, який передбачає омагнічування стічної води за рахунок введення попередньо розрахованої магнітної рідини.

Матеріали та методи дослідження

Для досягнення мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Визначити статичні параметри магнітної рідини магнітну сприйнятливість k , питому електричну провідність σ і температуру t у досліджуваному діапазоні температур $t = [15 - 35^\circ C]$.
2. Запропонувати комбінований метод очищення стічних вод, котрий передбачає після попереднього механічного очищення, використання в технологічній схемі очищення додаткового фільтру, який містить спеціальну зону для введення магнітної рідини на водній основі.
3. Навести схему очищення стічних вод міні-пивоварні, яка передбачає омагнічування стічних вод, шляхом додавання магнітної рідини у спеціальний фільтр та подальшому видаленні очищеної води сепаратором.
4. В результаті проведення досліджень процесу очищення пивних стоків на основі запропонованої схеми, знайти раціональне співвідношення стічна вода: магнітна рідина (СВ:МР).

Комбінований метод очищення стічних вод міні-пивоварні

На профільних підприємствах у спеціальних лабораторіях магнітні рідини одержують наступним чином, спочатку магнітний матеріал (ферит заліза Fe_3O_4) подрібнюють у кульовому млині (диспергують) [12, 13]. Потім у спеціальній ємності відбувається змішування основи магнітної рідини, олеїнової кислоти (поверхнево-активної речовини ПАВ) та подрібненого порошку (магнітної пудри) [12, 13]. Після цього виконується центрифугування, при цьому для розділення суміші частинок необхідно вибрати набір умов, таких як швидкість обертання, час центрифугування та радіус ротора [15, 16]. Далі проводиться поділ компонентів суміші концентруванням, у результаті підвищується відношення концентрації магнітної пудри до концентрації води, тобто здійснюється від-

ведення основи. Після цього при необхідності застосовують розведення, тобто зменшення концентрації шляхом підведення основи магнітної рідини. На рис.1 наведено алгоритм виготовлення магнітної рідини [12, 13].

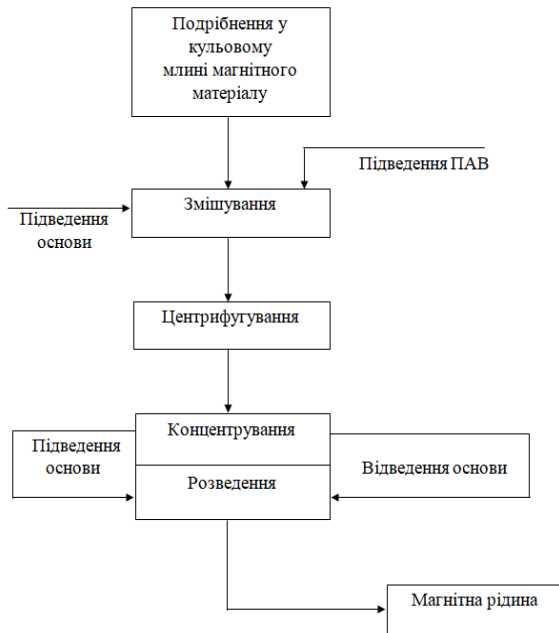


Рисунок 1 – Алгоритм виготовлення магнітної рідини

При цьому, якщо є можливість щодо застосування готової магнітної рідини, необхідно спочатку дослідити її основні статичні характеристики: магнітну сприйнятливості k_m , питому електричну провідність σ_t і температуру t (у досліджуваному діапазоні температур $t = [15 - 35^\circ\text{C}]$). Дослідження магнітної рідини здійснюється за допомогою схеми включення прохідного електромагнітного вимірювального перетворювача (ЕВП), яку наведено на рис.2 [17-21]. Досліджуваний зразок магнітної рідини розміщується у ЕВП, схема також передбачає нагрівання зразка у процесі контролю за допомогою розташованого у ЕВП нагрівача [17-21].

Схема включає до себе електромагнітний вимірювальний перетворювач – ЕВП, котушку взаємодуктивності – М, вимірювач сумарної ЕРС – V, фазометр – Ф, амперметр – А, генератор – Г, частотомір – Ч, R_0 – зразковий опір.

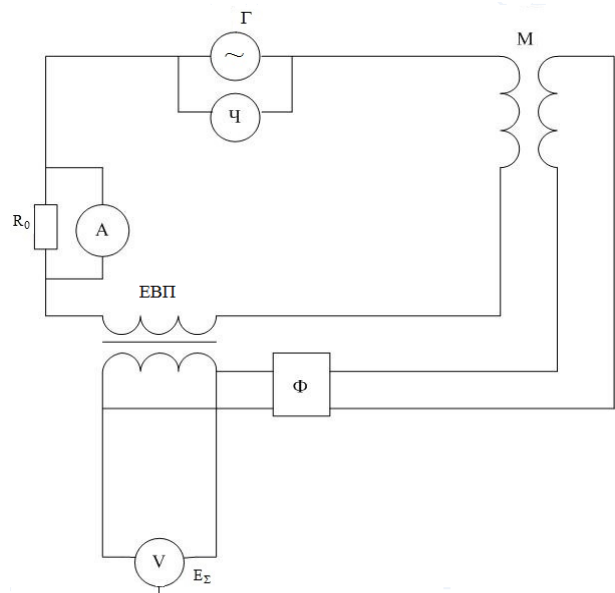


Рисунок 2 – Схема включення ЕВП зі зразком магнітної рідини

Під час здійснення трипараметрових сумісних вимірювань параметрів магнітної рідини, у схемі на рис. 2 здійснюють варіювання частоти електромагнітного поля f та реєструють її, при досягненні заданих значень амплітудного компонента сигналу, тобто ЕРС рідини e_{1m} при певній температурі магнітної рідини t_m . Слід визначити, що у цьому випадку, здійснюється порівняння компонентів амплітудного сигналу, тобто виконують порівняння ЕРС e_0 (яку вимірюють до піддавання досліджуваного зразка магнітної рідини нагріву) з ЕРС e_{1m} (тобто значення ЕРС e_{1m} при певній температурі рідини t_m з досліджуваного діапазону температур).

Змінення компонентів сигналів ЕРС і частоти f реєструють за допомогою вольтметра V і частотоміра Ч. Слід визначити, що під час реалізації методу, виконується наступна умова

$$\begin{cases} e_0 = e_{1m} = const \\ A = A_1 = const \end{cases} \quad (1)$$

В табл.1 наведено залежності ЕВП зі зразком магнітної рідини, тобто залежності фазового кута зсуву φ_t від узагальненого параметра A_t , $\varphi_t = f(A_t)$ і залежності φ_t від нормованого параметра G_t , (параметр G_t обумовлено проходженням магнітного потоку безпосередньо у зразку рідини, тобто $\varphi_t = f(G_t)$).

Таблиця 1 – Залежності $\varphi_t = f(A_t)$ і $\varphi_t = f(G_t)$

A	G _t	φ _t , град
0,84	0,9936	-5,02
0,86	0,9929	-5,26
0,88	0,9923	-5,50
0,90	0,9916	-5,75
0,92	0,9908	-6,01
0,94	0,9900	-6,26
0,96	0,9892	-6,53
0,98	0,9882	-6,79
1,00	0,9873	-7,07
1,02	0,9863	-7,35

Таким чином, застосовуючи компенсацію ефектів повітряного проміжку при виміряних значеннях частоти магнітного поля f , для магнітної рідини вимірюють: ЕРС e_0 і e_{1m} , а також фазовий кут φ_t поміж ними, при початковій температурі магнітної рідини t_0 і температурі з досліджуваного діапазону t_m (з кроком $t_m = 2^\circ\text{C}$). Потім знаходять узагальнений параметр A за залежністю $\varphi_t = f(A)$ з досліджуваного діапазону, далі за залежністю $\varphi_t = f(G)$, визначають параметри G_1 і G_{tm} (для початкової температури t_0 і дискретних значеннях температур t_m з досліджуваного температурного діапазону). Після цього вимірюють значення частот f_0 і f_{tm} , після цього за наведеними нижче формулами знаходять чисельні значення відносної магнітної сприйнятливості k_1 і k_t

$$k_1 = \frac{e_{1m}}{e_0 \cdot G_1}, \quad (2)$$

$$k_t = k_1 \cdot \frac{f_0}{f_{tm}} \quad (3)$$

На частоті електромагнітного поля f_{tm} , формула для визначення питомої електричної провідності χ_t магнітної рідини, має наступний вигляд

$$\chi_t = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{A^2 \cdot e_0 \cdot G_{tm}}{a^2 \cdot \mu_0 \cdot e_{1m} \cdot \pi \cdot f_{tm}} \right), \quad (4)$$

Температуру магнітної рідини на частоті електромагнітного поля f_{tm} , визначають за формулою

$$t_m = \frac{1}{\alpha} \cdot \left(\frac{f_0 \cdot k_1}{f_{tm} \cdot k_t} - 1 \right) + t_0 \quad (5)$$

α – температурний коефіцієнт опору; t_0 – початкова температура.

Аналitична залежність частоти електромагнітного поля f від температури t , виглядає наступним чином

$$f_{tm} = \frac{f_0}{(\alpha \cdot (t_m - t_0) + 1)} \quad (6)$$

В табл. 2, наведено результати вимірювань магнітної сприйнятливості k_t , питомої електричної провідності χ_t і температури t магнітної рідини, яка у подальшому застосовується при реалізації перспективного метода очищення.

Таблиця 2 – Результати вимірювань параметрів k_t , χ_t і t магнітної рідини

$E_2 = 900 \cdot 10^{-3}$ В; $E_0 = 78 \cdot 10^{-3}$ В; $\varphi_2 = 13,98$ град

A _t	f _{tm} , КГц	t, °C	k _t	χ _t 10 ⁴ , См/м
1,312	21,731	15,32	34,9	0,286
1,370	20,356	17,26	37,85	0,321
1,423	17,420	18,70	39,61	0,379
1,622	15,044	20,96	43,43	0,408
1,847	14,383	22,87	47,61	0,477
2,031	13,987	25,12	51,15	0,522
2,360	13,085	27,10	54,05	0,640
2,681	12,877	29,04	57,18	0,680
2,990	12,019	30,96	60,17	0,723
3,284	11,178	32,85	64,26	0,870

Технологічні схеми очищення стічних вод підприємств пивоварної галузі відрізняються за методами очищення, складом і конструкцією відповідного обладнання для очищення води і обробки осадів [22, 23].

При реалізації інформативних методів вимірювань фізико-хімічних параметрів зразків стічних вод, підтверджено утворення кислого стоку на виході із заторного і суловарного чанів, спостереження лужного стоку здійснювалася після отримання готової продукції [21].

Результати

Для реалізації комбінованого методу очищення стічних вод з метою досягнення нормативних показників, які дозволяють здійснювати скид стічних вод пивоварного підприємства в каналізацію, досліджено технологічну схему очищення стічних вод міні-пивоварні, яку наведено на рис. 3.

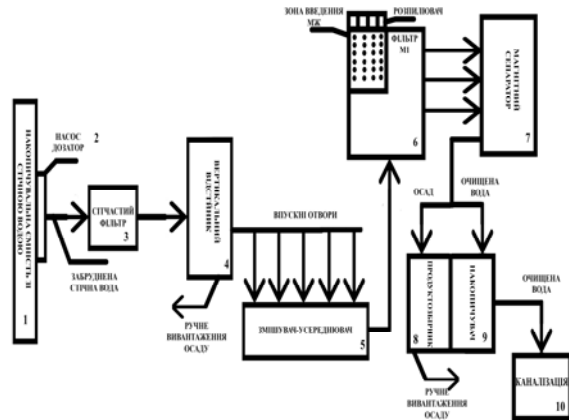


Рисунок 3 – Реалізація комбінованого методу очищення зразків пивних стоків

У відповідності з технологічною схемою очищення стічних вод міні-пивоварні, реалізація запропонованого комбінованого метода здійснюється наступним чином. Спочатку забруднена стічна вода (після відповідного інформативного контролю) з накопичувальної ємності – 1 через насос-дозатор – 2, піддається попередньому механічному очищенню [22, 23] на встановленому нерухомому сітчастому фільтрі – 3, під час такого механічного очищення відбувається видалення суспензій і різноманітних включень (0,5–2 см) та первинне відстоювання. Сітчастий фільтр являє собою нерухому сітку, встановлену впоперек потоку, при цьому коли сітка забивається, її можна витягти і промити водою [22, 23]. Після проходження через сітчастий фільтр потік стічної води надходить на вертикальний відстійник – 4. Для очищення стічних вод міні-пивоварні із добовою продуктивністю від 200 л., пива на добу, у вертикальному відстійнику відбувається відділення осаду. Відстійник включає до себе резервуар і спеціальну камеру для створення ефекту «вирію» в центральній трубі відстійника, камера передбачає конусне днище для накопичення осаду, що утворюється [22, 23]. При цьому тверда фаза, що утворюється, надалі не використовується, саме тому передбачено ручне вивантаження осаду [22, 23]. Для подальшого очищення потоки стічної води надходять на змішувач-усереднювач – 5, через впускні отвори. У змішувачі-усереднювачі відбувається усереднення стоку за рахунок взаємної нейтралізації стічних вод міні-пивоварні кислою та лужного складу, при цьому об'єм устаткування визначається ступенем усереднення витрати пивних стоків [22, 23]

$$V = \sum_1^T q(T) \cdot v^6 \quad (7)$$

де $q(T)$ – погодинні витрати стічних вод; v^6 – період усереднення.

Після змішувача-усереднювача потік стічної води відводиться на фільтр М1- 6, який передбачає введення магнітної рідини. Таким чином, через спеціальний розпилувач у фільтр зі стічною водою у необхідній кількості подається магнітна рідина в залежності від її магнітних характеристик. Магнітна рідина за рахунок взаємодії зі стічною водою перетворюється у слабомагнітну. При перемішуванні стічної води з магнітною рідиною відбувається вплив на природу фізико-хімічних процесів розчинення і кристалізації, що протікають у воді, та в результаті отримують слабомагнітну рідину. Контроль фізико-хімічних параметрів слабомагнітної рідини, що утворюється, здійснюється за допомогою схеми на рис. 2. В табл. 3, наведено чисельні значення магнітних, електричних та тем-

пературних параметрів слабомагнітної рідини, а також діапазони змінення компонентів сигналів ЕВП зі зразком слабомагнітної рідини. Процес очищення пивних стоків залежить від інтенсивності перемішування та якості магнітної рідини (стабільності магнітної рідини, її статичних характеристик та значень намагніченості насичення). Таким чином, в результаті змішування усередненого стоку з магнітною рідиною, утворюється слабомагнітна рідина, яка надалі поступає на магнітний сепаратор -7, задля подальшого очищення та досягнення необхідних значень нормативних параметрів зразків стічних вод до норм водовідведення.

Таблиця 3 – Результати визначення фізико-хімічних параметрів слабомагнітної рідини $E_2 = 10^{-3}$ В; $E_0 = 10^{-3}$ В; $\varphi_2 = 14,08$

A_t	$f_{im}, \text{Гц}$	$t, ^\circ\text{C}$	k_t	$\chi_t, 10^4, \text{См/м}$
1,05	1800	15,32	0,2	0,669
1,97	1740	17,26	0,25	0,697
2,91	1670,4	18,70	0,29	0,719
3,66	1618,6	20,96	0,34	0,747
4,21	1558,21	22,87	0,41	0,786
4,67	1480,85	25,12	0,48	0,828
5,11	1410,71	27,10	0,57	0,874
5,84	1329,94	29,04	0,68	0,937
6,19	1242,86	30,96	0,81	1,01
6,59	1153,59	32,85	0,93	1,09

Під час реалізації процесу сепарації, по скляній трубі слабомагнітна рідина проходить через електромагніт магнітного сепаратора [15, 16]. У сепараторі емульсія, що утворюється пропускають через область магнітного поля (магнітне поле інтенсифікує процес витіснення забруднювачів) та вилучають магнітні краплі, знижуючи таким чином, вміст забруднювачів у воді та підвищуючи якість очищення (намагніченість насичення стічних вод становить 0,5-1,5 кА/м). Далі очищена вода надходить у накопичувач -9, та після вимірювань фізико-хімічних параметрів, а також порівняння отриманих результатів з показниками наведеними у нормативних документах [3, 4], скидається в каналізацію -10, також передбачено ручне вивантаження осаду з продуктозбірника -8.

Після визначення фізико-хімічних параметрів зразків стічних вод еталонними та запропонованими безеталонними електромагнітними інформативними методами (відбір зразків здійснювався у накопичувальної ємності-9), отримані чисельні данні фізико-хімічних параметрів зразка стічних вод було зведено у табл. 4.

Таблиця 4 – Фізико-хімічні параметри зразка стічних вод міні-пивоварні після реалізації запропонованого метода очищення

Показники	Усереднений склад стоку
Температура t, °C	25
pH	8,1
ХСК, мгО ₂ /л	500
БСК ₅ , мгО ₂ /л	210
Зважені речовини, мг/л	250
Ca ²⁺ , мг/л	60
Mg ²⁺ , мг/л	15,8
Жорсткість загальна (dGH), мг/л	350
Карбонатна жорсткість (КН), мг/л	260
Азот загальний, мг/л	не норм
Фосфор (у перерахунку на P ₂ O ₅), мг/л	не норм
Хлориди, мг/л	288,03
Сульфати, мг/л	202,72

Таким чином, питома електрична провідність χ зразків стічних вод після додавання магнітної рідини, суттєво знижується, що свідчить про зменшення числа іонів за рахунок кристалізації солей жорсткості. У свою чергу, виникнення кристалів внаслідок омагнічування, призводить до суттєвого зниження жорсткості пивних стоків, а також до розчинення забруднень і, як наслідок, до підвищення очищення зразків стічних вод. Вплив магнітної рідини (яка вводиться у відповідний фільтр) на загальну жорсткість стічних вод, які упереміж мають кислий або лужний склад, дає можливість підвищити ефективність очищення пивних стоків за рахунок значного зменшення концентрацій розчинених у воді катіонів Ca²⁺ і Mg²⁺ при виникненні процесу кристалізації та зменшенні розмірів кристалів (при вимірних значеннях температури t з досліджуваного діапазону). Слід визначити, що при значних концентраціях магнітної рідини забруднення витягуються недостатнім чином (незалежно від часу взаємодії), що призводить до перевитрати магні-

тної рідини. У той же час, при малих концентраціях магнітної рідини – немає достатнього тяжіння між частинками, що призводить до неповного очищення пивних стоків. В результаті випробувань встановлено раціональне співвідношення стічна вода: магнітна рідина (СВ:МР), СВ:МР = $8,7 \cdot 10^{-3}$: 1.

Порівняння даних, з нормативними документами [3, 4], свідчать про ефективність запропонованого комбінованого метода очищення пивних стоків стосовно норм водовідведення у міську каналізацію, а саме водневий показник pH зменшується в результаті очищення на 34,6%, ХСК в 7,14 рази, БСК₅ в 1,52 рази, зважені речовини в 1,52 рази, катіони кальцію Ca²⁺ в 1,53 рази, катіони магнію Mg²⁺ в 1,51 рази, загальна жорсткість в 1,64 рази, карбонатна жорсткість в 1,86 рази. Слід визначити, що введення магнітної рідини також дозволяє осаджувати дрібнодисперсні забруднення в каламутних стоках міні-пивоварні.

Висновки

Таким чином, у рамках вирішення важливої наукової і 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 раціональних методів очищення, запропоновано комбінований метод очищення стічних вод міні-пивоварні, котрий передбачає після механічного очищення, використання в технологічній схемі очищення додаткового фільтру М1, який містить спеціальну зону для введення попередньо розрахованої магнітної рідини на водній основі. Визначено статичні характеристики магнітної рідини: магнітну сприйнятливість k, питому електричну провідність χ і температуру t у досліджуваному діапазоні температур t = [15 - 35°C]. В основі процесу очищення стічних вод пивоварних виробництв магнітною рідиною лежить принцип омагнічування, шляхом додавання магнітної рідини у фільтр М1 та подальшому видаленні очищеної води сепаратором. Далі очищена вода надходить у накопичувач та після відповідних вимірювань інформативних параметрів й порівняння отриманих результатів з фізико-хімічними показниками наведеними у нормативних документах, здійснюється скид стічної води у каналізацію. Наведено схему очищення стічних вод міні-пивоварні, яка передбачає реалізацію запропонованого комбінованого методу очищення. Порівняння даних, з нормативними документами свідчать про ефективність запропонованого комбінованого метода очищення пивних стоків стосовно норм водовідведення у міську каналізацію, а саме водневий показник pH зменшується в результаті очищення на 34,6%, ХСК в 7,14 рази, БСК₅ в 1,52 рази, зважені речовини в

1,52 рази, катіони кальцію Ca^{2+} в 1,53 рази, катіони магнію Mg^{2+} в 1,51 рази, загальна жорсткість в 1,64 рази, карбонатна жорсткість в 1,86 рази.

Науковою новизною є запропонований комбінований метод очищення стічних вод кислого та лужного складу і удосконалена технологічна схема очищення, на основі застосування додаткового фільтру, який передбачає омагнічування стічної води за рахунок введення попередньо розрахованої магнітної рідини. Практичне значення отриманих результатів в процесі проведення досліджень знайдено раціональне співвідношення стічна вода: магнітна рідина (СВ:МР), СВ:МР = $8,7 \cdot 10^{-3}$: 1. Перспективи подальших досліджень полягають в створенні раціональних методів очищення концентрованих стічних вод переробних і харчових виробництв на основі омагнічування потоків стічних вод, осадження дрібнодисперсних забруднень в каламутних стоках, освітлення та пом'якшення стічних вод у комбінованому процесі очищення.

Список літератури

1. 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.
2. 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.
3. A.K. Prajapati, P.K. Chaudhari, Physicochemical Treatment of Distillery Wastewater – A Review, *Chemical Engineering Communications* 202/8 (2015) 1098-1117.
4. ДСТУ ISO 14001:2015. Системи екологічного управління. (ISO 14001:2015, IDT). [Чинний від 2015-12-21]. Київ, 2016. 37 с. (Вимоги та настанови щодо застосування).
5. Шиян, П. Л. Алкогольні напої – досвід поколінь (теорія, обладнання, рецептури): монографія / П. Л. Шиян, В. В. Сосницький; Національний університет харчових технологій. Київ: Інтерсервіс, 2017. 336 с.
6. Пивоварна промисловість: традиції та інновації. Вітчизняний та світовий досвід [Електронний ресурс] : наук.- допом. бібліогр. покажч. / [упоряд. О. В. Олабоді]; Нац. ун-т харч. технол., Наук.-техн. б-ка. Київ, 2019. 136 с.
7. Аналітичні екологічні прилади та системи: монографія. / Порев В.А. та ін.; за ред. В.А. Порєва. Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2009. 336 с.
8. Pyrozhenko Ye.V., Sebko V.V., Zdorenko V.G., Zashcherkina 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.
9. Себко В. В., Пироженко Є. В., Бабенко В. М. Індуктивний параметричний вихорострумний перетворювач (ІПВП) для вимірювань електричних та температурних параметрів стічних вод пивоварного виробництва. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія. Харків: НТУ «ХПІ», 2021. С.26-34.
10. Знак З. О., Сухацький, Ю. В., Мних, Р. В. Розроблення кавітаційно-флотаційного процесу очищення стічних вод в аспекті реалізації сучасних концепцій синтезу хіміко-технологічних систем. *Вісник Нац. ун-ту «Львівська політехніка»*, 2014. С.75–79.
11. Гетта О. С., Шестопапов О. В., Рикусова Н. І. Фізико-хімічні методи очищення стічних вод на підприємствах харчової промисловості. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доп. XXVIII міжнар. наук.-практ. конф.* (м. Харків, 28–30 жовт. 2020 р.). Харків: НТУ «ХПІ», 2020. С. 14.
12. Классен В.И. Омагничивание водных систем. М.: Химия, 1982. 296 с.
13. Tenford T.S., Kaun W.T. Interaction of extremely low frequency electric and magnetic fields with humans. // *Health Phys.* 1987. № 53. P. 586 – 606.
14. Пирог Т. П. Дія наночастинок металів на деякі мікроорганізми і мікрофлору непастеризованого пива / Т. П. Пирог, А. Д. Конон, С. І. Антонюк та ін. // *Мікробіологічний журнал*. 2011. Т. 73, № 6. С. 12–19
15. ТОВАЖНЯНСКИЙ Л.Л., ГОТЛИНСКАЯ А.П., ЛЕЩЕНКО В.А. и др. Процессы и аппараты химической технологии. Ч. 2. Харьков: НТУ «ХПИ», 2005. 532 с.
16. Атаманюк В.М. Процеси та апарати хімічних виробництв. Видавництво Національного університету «Львівська політехніка». Атаманюк В.М., Кінздера Д.П., Гаврилів Р.І. Львів. 2007. Ч.1. 136 С.
17. Білокур І.П. Дефектология и неразрушающий контроль: навч. посіб. Київ: НМК ВО, 1990. 252 с.
18. Середюк О.Є., Барна О.Б., Криницький О.С. Електричний, магнітний та електромагнітний види неруйнівного контролю в нафтовій галузі: навчальний посібник. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2017. 348с.
19. Тетерко А.Я. Метод формування інформаційного сигналу та підвищення точності вихорострумного 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.
20. Обшта А. Ф., Стащук М. Г., Горопацький В. Г. Моделювання впливу агресивних середовищ на електричне поле електропровідних тіл. *Прикладні проблеми механіки і математики*. Львів. Науковий збірник, 2004. № 2. С. 161–165.
21. Пироженко Є.В., Себко В.В., Здоренко В.Г., Бабенко В.М., Забіяка Н.А. Визначення фізико-хімічних характеристик магнітної рідини при реалізації методу на основі електромагнітного перетворювача. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія. Харків: НТУ «ХПІ», 2022. №1 С.48 – 55.
22. Петрук В.Г. Природоохоронні технології. Методи очищення стічних вод / В.Г. Петрук, Л.І. Северин, І.В. Васильківський, І.І. Безвозюк. В: ВНТУ, 2014. 254 с.
23. Мальований М.С., Вронська Н.Ю., Коваль І.З., Сакалова Г.В. Порівняльні дослідження перспективних методів очищення природних вод. *Вісник НУ «Львівська політехніка. Хімія, технологія речовин та їх застосування №761*. 2013. С.280–284.

References (transliterated)

1. 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.
2. 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.
3. A.K. Prajapati, P.K. Chaudhari, Physicochemical Treatment of Distillery Wastewater – A Review, *Chemical Engineering Communications* 202/8 (2015) 1098-1117.
4. DSTU ISO 14001:2015. Systemy ekolohichnoho upravlinnia. (ISO 14001:2015, IDT). [Chynnyi vid 2015-12-21]. Kyiv, 2016. 37 s. (Vymohy ta nastanovy shchodo zastosuvannia).
5. Shiyan, P. L. Alcoholic beverages - experience of generations (theory, equipment, recipes): monograph / P. L. Shiyan, V. V. Sosnytskyi; National University of Food Technologies. Kyiv: Interservice, 2017. 336 p.
6. Brewing industry: traditions and innovations. Domestic and world experience [Electronic resource]: research assistant. bibliography show / [edit O. V. Olabodi]; National University of Food technology, science and technology b-ka Kyiv, 2019. 136 p.
7. Brewing industry: traditions and innovations. Domestic and world experience [Electronic resource]: research assistant. bibliography show / [edit O. V. Olabodi]; National University of Food technology, science and technology b-ka Kyiv, 2019. 136 p.
8. 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.
9. Sebko V. V., Pyrozhenko E. V., Babenko V. M. Inductive parametric eddy current converter (EDC) for measuring electrical and temperature parameters of brewery wastewater. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Chemistry, chemical technology and ecology.* Kharkiv: NTU "KhPI", 2021. P.26-34.
10. Znak Z. O., Sukhatskyi, Yu. V., Mnykh, R. V. Development of the cavitation-flotation process of wastewater treatment in the aspect of implementation of modern concepts of the synthesis of chemical-technological systems. *Bulletin of the National Lviv Polytechnic University*, 2014. P.75–79.
11. Getta O. S., Shestopalov O. V., Rykusova N. I. Physicochemical methods of wastewater treatment at food industry enterprises. *Information technologies: science, engineering, technology, education, health: theses add.* XXVIII International science and practice conf. (Kharkov, October 28–30, 2020). Kharkiv: NTU "KhPI", 2020. P. 14.
12. Klassen V.I. Magnetization of water systems. M.: Khimiya, 1982. 296 p.
13. Tenford T.S., Kaun W.T. Interaction of extremely low frequency electric and magnetic fields with humans. // *Health. Phys.* 1987. № 53. P. 586 – 606.
14. Pyrog, T. P. Effect of metal nanoparticles on some microorganisms and microflora of unpasteurized beer / T. P. Pyrog, A. D. Konon, S. I. Antonyuk, etc. // *Microbiological journal.* 2011. Vol. 73, No. 6. P. 12–19
15. Tovazhnyansky L.L., Gotlinskaya A.P., Leshchenko V.A. etc. Processes and devices of chemical technology. Part 2. Kharkiv: NTU "Khpy", 2005. 532 p.
16. Atamanyuk V.M. Processes and devices of chemical industries. Publishing house of Lviv Polytechnic National University. Atamanyuk V.M., Kinzdera D.P., Gavryliv R.I. Lviv. 2007. Part 1. 136 S.
17. Bilokur I.P. Defectology and non-destructive testing: teaching. manual Kyiv: NMK VO, 1990. 252 p.
18. Serebyuk O.E., Barna O.B., Krynytskyi O.S. Electric, magnetic and electromagnetic types of non-destructive testing in the oil industry: a study guide. Ivano-Frankivsk: IFNTUNG, 2017. 348p.
19. Teterko A.Ya. The method of forming an information signal and increasing the accuracy of eddy current control of the specific electrical conductivity of the material excluding the influence of the gap / A. Ya. Teterko, H. G. Lutsenko, V. I. Gutnyk, O. A. Teterko // *Selection and processing of information.* Lviv, 2016. Issue 43 (119). P.5–11.
20. Obshta A.F., Stashchuk M.G., Horopatskyi V.G. Modeling of the effect of aggressive environments on the electric field of conductive bodies. *Applied problems of mechanics and mathematics.* Lviv. Scientific Collection, 2004. No. 2. P. 161–165.
21. Pyrozhenko E.V., Sebko V.V., Zdorenko V.G., Babenko V.M., Zabyaka N.A. Determination of physicochemical characteristics of magnetic fluid when implementing the method based on an electromagnetic transducer. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Chemistry, chemical technology and ecology.* Kharkiv: NTU "KhPI", 2022. No. 1 P.48 - 55.
22. Petruk V.G. Environmental protection technologies. Methods of wastewater treatment / V.G. Petruk, L.I. Severyn, I.V. Vasylykivskyi, I.I. Bezvoziuk V: VNTU, 2014. 254 p.
23. Malyovany M.S., Vronska N.Yu., Koval I.Z., Sakalova G.V. Comparative studies of promising methods of natural water purification. *Bulletin of the Lviv Polytechnic University. Chemistry, technology of substances and their application* No. 761. 2013. P.280–284.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Пироженко Євгенія Володимирівна (Пироженко Евгения Владимировна, PyrozhenkoYevheniia) – аспірантка, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0002-6298-8670; Email: andreyperik@gmail.com.