

Scientific and technical journal «Technogenic and Ecological Safety»

RESEARCH ARTICLE
OPEN ACCESS

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ФОРМУВАННЯ ТА ХІМІЧНОГО СКЛАДУ СТІЧНИХ ВОД МОЛОКОПЕРЕРОБНОГО ПІДПРИЄМСТВА

В. А. Андронов¹, Є. О. Макаров¹, Ю. М. Данченко², Т. М. Обіженко²¹Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна²Харківський національний університет будівництва та архітектури, Харків, Україна

УДК 628.543:637.1

DOI: 10.5281/zenodo.3780011

Отримано: 10 April 2020

Прийнято: 22 April 2020

Cite as: Andronov V., Makarov Ye., Danchenko Yu., Obigenko T. (2020). Research of the regularities of forming and chemical composition of sewage water of a dairy processing company. Technogenic and ecological safety, 7(1/2020), 13–21. doi: 10.5281/zenodo.3780011

Анотація

У статті встановлені закономірності і умови формування та експериментально визначено хімічний склад стічних вод молокопереробного підприємства Сумської області. Досліджені закономірності формування і режими скиду стічних вод. Показано, що процес формування загального стоку відбувається у складних виробничих умовах, що включають раптові викиди сильно забруднених стоків з високою концентрацією основних забруднювачів, нестабільний об'єм вод, які утворюються в різних технологічних процесах, залежність об'єму і складу вод від сезону, виробничої зміни, часу доби роботи та ін. Стічні води, які утворюються на підприємстві розділені на дві групи. Обидві групи формують загальний стік, який потрапляє на споруди біологічної очистки. Перша група – мало забруднені води – формуються після очищення технологічного обладнання, трубопроводів, автоцистерн, тари, підлог і панелей виробничих приміщень. Друга група – сильно забруднені води – формуються безпосередньо в результаті переробки сировини у готову продукцію у відділі приймання сировини (молока), цеху сиру, цеху масла, цеху плавлених сирів. Загальна кількість стічних вод коливається в широких межах і у літній період рік укладає 200–460 м³/добу. Експериментально досліджено хімічний склад стічних вод за основними показниками, які регламентуються при потрапленні стоків у систему водовідведення. Визначено, що хімічний склад загального стоку молокопереробного підприємства не відповідає вимогам, що пред'являються до стоків, які поступають на споруди біологічної очистки. Норми суттєво перевищені по наступним показникам: хімічне споживання кисню (ХСК) – у 4–24 рази; етеророзчинні речовини (ЕРР) – у 8–26 разів; фосфати – у 10–15 разів; зважені речовини (ЗР) – у 4–10 разів. Характер реакції середовища рН стічних вод є кислим, в той час по нормам має бути нейтральним або слабко лужним. Встановлено, що найбільш забруднені стічні води утворюються в процесі виробництва масла (цех масла) і сиру (цех сиру). Ці води характеризуються низьким рН, високими значеннями ХСК, ЕРР, хлоридів, фосфатів, ЗР, сухого залишку (СЗ) та прожареного залишку (ПЗ). Меншими концентраціями основних забруднювачів характеризуються стічні води з відділення приймання сировини та цеху плавлених сирів. Показано, що для попередження загибелі активного мулу у спорудах біологічної очистки необхідна попередня обробка стічних вод для приведення вищезказаних показників до необхідних норм.

Ключові слова: молокопереробне підприємство, стічні води, хімічний склад.

Вступ

Одне з перших місць за об'ємом і концентрацією забруднень стічних вод займає молочна галузь, яка складається з різних видів підприємств: молокоприймальні пункти, сепараторні відділення, миські молочні заводи, сироробні і маслоробні заводи [1–3]. На підприємствах молочної галузі стічні води складають близько 90 % від використовуваної підприємствами чистої води. При середніх питомих витратах води 5 м³ на тону молока, в залежності від потужності підприємства, за добу утворюється близько 500 м³ стічних вод. Промислові стічні води, які утворюються на підприємствах молочної галузі поділяються на два види: забруднені і мало забруднені. Забруднені стічні води утворюються після очищення обладнання, технологічних трубопроводів, автомобільних цистерн, підлог, панелей виробничих приміщень та ін. Мало забруднені води утворюються в результаті процесів охолодження молока та обладнання. Обидва види стічних вод утворюють загальний стік, який підлягає очищенню, знезараженню і викиду у системи водовідведення або поверхневі водойми (в залежності від хімічного складу).

Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Стічні води молокопереробних підприємств відносяться до категорії висококонцентрованих вод з нестабільним складом [4]. Основними нормативними показниками, якими прийнято характеризувати небезпечність стічних вод молокопереробних підприємств є хімічне споживання кисню (ХСК) (1000–5000 мг О₂/л), біохімічне споживання кисню (БСК) (700–3700 мг О₂/л), загальний вміст етеророзчинних речовин (200–400 г/л), загальний вміст нітрогену (20–170 мг/л), показник кислотності рН (3,6–10,4), прозорістю (0,8–2,0 см). Окрім згаданих показників стічні води технологій переробки молока характеризуються підвищеним вмістом завислих речовин (1200–2900 мг/л), сульфатів-іонів SO₄²⁻ (140–160 мг/л), хлорид-іонів Cl⁻ (168–400 мг/л), іонів амонію NH₄⁺ (6–12 мг/л), фосфат-іонів PO₄³⁻ (100–145 мг/л), іонів кальцію Ca²⁺ (150–200 мг/л), а також сухого (2500–8000 мг/л) та прожареного (500–1500 мг/л) залишків. Дисперсна фаза стічних вод представлена нерозчинними у воді жирами та частинками коагульованого білка [5]. Внаслідок високого вмісту білкових речовин, вуглеводнів і

жирів, стічні води швидко загніваються і закисають. При цьому відбувається бродіння молочного цукру, що призводить до осадження казеїну та інших протеїнових речовин. Вищевказані процеси супроводжуються виділенням газів з неприємним запахом.

Величина рН стічних вод у значній мірі визначається технологіями виробництва та асортиментом продукції, що випускається [6]. Для виробництв, які не пов'язані з процесами молочнокислого бродіння (молочноконсервні, маслоробні заводи), рН стічних вод близько до нейтрального (6,8–7,4). Найбільш небезпечними є стічні води, що утворюються під час виробництва казеїну, твердих сирів та молочнокислого сиру. Це пов'язано з тим, що в процесі переробки утворюється побічний продукт – молочна сироватка. Наявність молочної сироватки зумовлює зниження рН стічних вод до 4,5. Коливання значень рН загального стоку часто викликані використанням різноманітних за складом хімічних миючих засобів.

Як було зазначено, стічні води підприємств молокопереробної галузі характеризуються найбільш високими показниками ХСК та БПК. Це пов'язано з високим вмістом органічних забруднень, які легко окислюються хімічними та біологічними окисниками. Серед них жири (етеророзчинними речовинами) і білки. Жири і білки молока у воді – це емульсія з дрібних кульок жиру, які мають гідратовану білкову оболонку [6]. Стічні води містять жири і білки у тому ж вигляді, що і натуральне молоко, оскільки втрати молока є основним забрудненням для цих стоків.

Зважені речовини представлені частинками твердих продуктів переробки молока (кисломолочного і твердого сиру, молочні плівки, сирне зерно та ін.), також іншими домішками (грунт, пісок), які потрапляють у воду в процесі мийки технологічного обладнання. Основна частина (до 90%) представлена органічними речовинами, як правило, білкового походження.

У стічних водах молокопереробних підприємств міститься нітроген у складі аміногруп білкових речовин. У невеликих кількостях міститься нітроген іонів амонію. Загальний вміст нітрогену є сумою з усіх вище перелічених речовин.

Фосфат-іони потрапляють у стічні води з миючими засобами та з натурального молока, яке містить близько 90 мг фосфору у 100 г молока.

Наявність хлорид-іонів у стічних водах зумовлюється використанням у виробництві повареної солі, потраплянням охолоджуючих розсолів, наявністю хлоридів у свіжій воді, натуральному молоці, миючих та дезінфікуючих розчинах.

Структура молокопереробного підприємства і, відповідно, склад стічних вод, залежить від наступних факторів: потужності, технологічних схем переробки; методів виробництва готової продукції та ін. Зазвичай, виробництво конкретного молочного продукту є багатостадійним [7, 8]. Наприклад [6], виробництво сиру кислотним способом здійснюється за схемою: прийом молока

→ нормалізація молока до необхідного хімічного складу → очистка і пастеризація молока → охолодження молока до температури сквашування → внесення закваски та сичужного ферменту у молоко → сквашування → розрізання згустку → відділення сироватки → охолодження сиру → фасування, упаковка і зберігання.

Очевидно, що хімічний склад впливає на технології та технологічні схеми, які використовуються для очищення та знезараження стічних вод. До них відносяться метод біологічної очистки, фізико-хімічні методи, такі як, коагуляція, відстоювання, флотація, а також хімічні методи з використанням хімічних реагентів. До традиційних методів очистки стічних вод підприємств молочної промисловості відносяться найбільш широко відомі у вітчизняній та закордонній літературі методи біологічної очистки [9, 10]. Проте, внаслідок високої концентрації забруднень у стічних водах, які потрапляють до біологічних очисних споруд, у більшості випадків не забезпечується необхідний ступінь очищення та, крім того, порушується робота біологічних споруд аж до повної їх паралізації. У зв'язку з цим останнім часом приділяється увагу розробці методів попередньої очистки, що дозволяє знизити концентрацію жирів, зважених речовин, біогенних елементів у стічних водах до санітарних норм, за яких забезпечується ефективна робота біологічних очисних споруд. Одним з простіших методів попередньої очистки є відстоювання. Використання відстоювання у системах споруд механічної очистки дозволяє знизити концентрацію жирів та зважених речовин у стічних водах на 40–50% [11]. Переваги флотаційних методів очистки, в порівнянні з відстоюванням, обумовлені високою швидкістю флотаційних процесів та безперервною аерацією стічних вод у ході процесу. Найбільш розповсюдженими є методи хімічної очистки коагулянтами – сульфатами, оксохлоридами алюмінію або феруму, хлоридом кальцію та ін. [12–14], які забезпечують не тільки ефективне видалення жирів, а й біогенних елементів – сполук нітрогену і фосфору, що має велике значення для подальшого біологічного очищення. У ряді випадків ці методи недостатньо ефективні та, крім того, потребують зневоднення великого об'єму осадів, які утворюються при хімічній обробці та подальшому відстоюванні. Тому найчастіше поєднують хімічну обробку з подальшою, наприклад, напорною флотацією [15, 16] або з іншими фізико-хімічними методами. У деяких роботах після хімічної обробки для вилучення органічних забруднювачів рекомендується використання сорбентів на основі мінеральних матеріалів – бентонітів, каолінітів, цеолітів та ін. [11, 17, 18] або фільтрів та мембран з синтетичних полімерних матеріалів [19–21]. Електрохімічні методи очищення забезпечують високий ступінь видалення забруднень зі стічних вод. Електрохімічні установки компактні та прості у використанні. Серед електрохімічних методів, що в теперішній час ефективно застосовуються для очищення стічних вод від жирів, необхідно

відмити електрофлотацію та електрокоагуляцію [22–28].

Таким чином, в результаті огляду літературних джерел встановлено, що склад стічних вод молокопереробного підприємства залежить від багатьох факторів: складу і якості сировини, технологічних схем переробки сировини, складу використовуваної води, природи хімічних реагентів та мийних засобів, що використовуються для очищення обладнання, кількості етапів переробки сировини та ін.

Мета та завдання дослідження

Метою дослідження є встановлення закономірностей і умов формування та визначення хімічного складу стічних вод молокопереробного підприємства Сумської області. Для досягнення мети вирішувались наступні задачі:

1) Встановити умови та закономірності формування, режими скиду і утворення стічних вод на молокопереробному підприємстві.

2) Експериментально дослідити хімічний склад стічних вод за основними показниками, які регламентуються при потрапленні у систему водовідведення та на споруди біологічної очистки.

Матеріали та методи дослідження

Для дослідження обрано стічні води молокопереробного підприємства Сумської області.

Хімічний склад стічних вод досліджувався за визнаними методиками [29].

Визначення водневого показника рН проводилось при кімнатній температурі (20–25°C) за допомогою портативного рН-метра марки SX 711 (Китай) з точністю вимірювання $\pm 0,001$ рН.

Прозорість води визначалась за використанням приладу Снеллена, який представляє собою скляний циліндр з плоским дном. Починаючи від дна, циліндр градуйований по висоті у сантиметрах. Висота градуйованої частини становила 30 см. У нижній частині циліндра є відвідний кінець для зливання води з гумовою трубкою. Досліджувана вода перемішувалась і, не фільтруючи, наливалась доверху в циліндр, під дно якого поміщався шриффт №1. Відстань від дна до шрифту повинна була становити 4 см. За необхідності, вода з циліндра поступово виливалась доти, доки букви шрифту не будуть добре видимі. Висота стовпа води, виражена в сантиметрах, вказувала на ступінь прозорості води. Визначення проводилось у добре освітленому приміщенні на відстані не більше 1 м від вікна.

Кількість сухого залишку у воді залежить від кількості розчинених солей та органічних речовин, що не розкладаються при температурі 105°C. Попередньо профільтована вода випаровувалась на водяній бані у фарфоровій чашці діаметром 7–8 см, зважений з точністю до 0,001 г. Чашка із сухим залишком висушувалась у сушильній шафі при температурі 103–105°C, після чого знову зважувалась. Ця операція повторювалась тричі для досягнення постійного значення маси. Кінцевий результат розраховувався як середнє значення з

трьох паралельних визначень. Сухий залишок (СЗ, мг/дм³) розраховувався за формулою:

$$СЗ = (m - m_1) \cdot 1000 / V, \quad (1)$$

де СЗ – сухий залишок, мг/дм³; m – маса чашки з сухим залишком, мг; m_1 – маса порожньої чашки, мг; V – об'єм води, взятий для випаровування, дм³; 1000 – коефіцієнт для перерахунку на 1 дм³ води.

Кількість прожареного залишку залежить від кількості розчинених неорганічних солей. Попередньо профільтована вода випаровувалась на водяній бані у фарфоровій чашці діаметром 7–8 см, зважений з точністю до 0,001 г. Чашка із сухим залишком прожарювалась у муфельній печі при температурі 600°C протягом 15–20 хвилин, після чого поміщалась у ексікатор для охолодження і знову зважувалась. Ця операція повторювалась тричі для досягнення постійного значення маси. Кінцевий результат розраховувався як середнє значення з трьох паралельних визначень. Прожарений залишок (ПЗ, мг/дм³) розраховувався за тією ж формулою (1), що і сухий залишок.

Кількість зважених речовин у воді визначалась наступним чином. Відміряний об'єм усередненої, добре перемішаної нефільрованої проби стічної води фільтрувався через паперовий фільтр «синя стрічка», який був попередньо зважений з точністю до 0,001 г. Фільтр з осадом висушувалась у сушильній шафі при температурі 103–105°C, після чого охолоджувався в ексікаторі і знову зважувалась. Операція повторювалась тричі для досягнення постійного значення маси. Кінцевий результат розраховувався як середнє значення з трьох паралельних визначень. Кількість зважених речовин (ЗР, мг/дм³) розраховувалась за тією ж формулою (1), що і сухий залишок.

Хімічне споживання кисню (ХСК) визначалось з допомогою біхроматного арбітражного методу. Стічна вода фільтрувалась через фільтр «біла стрічка». Перша порція фільтрату відкидалась, а фільтр попередньо промивався гарячою водою. Хлориди, які заважали аналізу маскувались додаванням HgSO₄ у кількості 22,2 мг на 1 мг Cl⁻. Органічні речовини окислювались надлишком калій біхромату K₂Cr₂O₇ у 18 н розчині (розведення 1:1) сульфатної кислоти. Після окислення залишок калій біхромату відтитровувався розчином солі Мора з індикатором ферроїном (розчин N-фенілатронілової кислоти). Паралельно проводився холостий дослід. Хімічне споживання кисню (ХСК, мг О/дм³) розраховувалось за формулою:

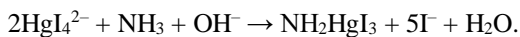
$$ХСК = (a - b) \cdot N \cdot 8 \cdot 1000 / V, \quad (2)$$

де ХСК – хімічне споживання кисню, мг О/дм³; a – об'єм розчину солі Мора, який витрачено на титрування в холостому досліді, см³; b – об'єм розчину солі Мора, який витрачено на титрування проби, см³; N – нормальна концентрація титрованого розчину солі Мора; V – об'єм води, взятий для дослідження, дм³; 1000 – коефіцієнт для перерахунку на 1 дм³ води; 8 – еквівалент кисню.

Біохімічне споживання кисню (БПК₅, мг О/дм³) визначалось як кількість кисню, що необхідно для окислення органічних речовин у аеробних умовах в результаті біохімічних процесів протягом 5 діб.

Вміст іонів кальцію (Ca²⁺, мг/дм³) досліджувався титриметричним методом. Титрування здійснювалось розчином етилендіамінтетраоцтової кислоти (ЕДТО) з індикатором мурексидом. Для виключення органічних речовин, які заважають визначенню, проводилась попередня обробка стічної води з використанням методу сухого випалення.

Вміст іонів амонію (NH₄⁺) досліджувався фотометричним методом з використанням лабораторного фотометра марки КФК-2. В основі аналізу лежить реакція взаємодії іонів амонію з реактивом Неслера в лужному середовищі:



В результаті реакції утворюються жовто-коричневі сполуки, які випадають в осад, а при малих концентраціях утворюють колоїдні розчини. Попередньо здійснювалась побудова калібрувального графіку залежності оптичної густини від концентрації NH₄⁺ у воді з використанням стандартного розчину іонів амонію. Вимірювання оптичної густини розчинів здійснювалось з використанням кювет 5 см при $\lambda = 425$ нм. Концентрація іонів амонію (NH₄⁺, мг/дм³) у досліджуваній воді визначалась за графіком.

Вміст сульфат-іонів (SO₄²⁻) досліджувався гравіметричним методом. В основі аналізу лежить хімічна реакція з барій хлоридом BaCl₂, в результаті якої утворюється білий осад барій сульфату BaSO₄. Кількість сульфатів (SO₄²⁻, мг/дм³) розраховувалась за формулою:

$$\text{SO}_4^{2-}, \text{ мг/дм}^3 = a \cdot 0,4116 \cdot 1000 / V, \quad (3)$$

де a – маса прожареного у муфельній печі при температурі 600°C осаду барій сульфату, г; V – об'єм води, взятий для дослідження, см³; 1000 – коефіцієнт для перерахунку на 1 дм³ води; 0,4116 – коефіцієнт перерахунку BaSO₄ на SO₄²⁻.

Вміст розчинених у воді ортофосфат-іонів (PO₄³⁻) досліджувався фотометричним методом. В основі аналізу лежить хімічна реакція між ортофосфат-іонів з молібдатом амонію у кислому середовищі з утворенням гетерополікислоти жовтого кольору. Під дією відновників гетерополікислота перетворюється на сполуку з інтенсивним синім забарвленням. Вимірювання оптичної густини здійснюють при $\lambda = 880$ нм. Концентрація фосфатів (PO₄³⁻, мг/дм³) у досліджуваній воді визначалась за калібрувальним графіком.

Вміст хлорид-іонів (Cl⁻) визначався аргентометричним методом (Фольгарда). Після випарювання проби залишок прожарювався, розчинявся у гарячій воді і до розчину додавався надлишок розчин аргентум нітрату AgNO₃. Осад аргентум хлориду AgCl відфільтровувався і залишок AgNO₃ відтитровувався розчином калій роданіду

KSCN в присутності залізоамонійних галунів в якості індикатора. Концентрація хлоридів (Cl⁻, мг/дм³) у досліджуваній воді визначалась за формулою:

$$\text{Cl}^-, \text{ мг/дм}^3 = (a \cdot K_1 - b \cdot K_2) \cdot 3,546 \cdot 1000 / V, \quad (4)$$

де a – об'єм доданого розчину AgNO₃, см³; b – об'єм розчину KSCN, що витрачений на титрування, см³; K_1 – поправочний коефіцієнт для приведення концентрації розчину AgNO₃ до точно 0,1 н; K_2 – поправочний коефіцієнт для приведення концентрації розчину KSCN до точно 0,1 н; V – об'єм води, взятий для дослідження, см³; 3,546 – кількість хлору, еквівалентне 1 см³ 0,1 н розчину AgNO₃, мг.

Визначення кількості етерозчинних речовин (ЕРР) (жирів та мінеральних олій) здійснювалось методом багатократної екстракції петролейним етером в якості екстрагента. Після випарювання етеру з екстракту, ваговим методом визначалась кількість речовин, що розчинилась у етері. Вміст етерозчинних речовин (ЕРР, мг/дм³) розраховувався за формулою:

$$\text{ЕРР} = (m_1 - m_2) \cdot V_2 \cdot 1000 / V_1 \cdot V, \quad (5)$$

де m_1 – маса бюксу із залишком після видалення екстрагента, мг; m_2 – маса порожньої бюкси, мг; V – об'єм води, взятий для дослідження, см³; V_2 – об'єм колби з екстрактом, см³; V_1 – об'єм аліквотної порції екстракту, см³.

Результати досліджень

В результаті ознайомлення з молокопереробним підприємством необхідно відмітити наступні факти.

Стічні води, які утворюються на підприємстві можна розділити на дві групи. Обидві групи формують загальний стік, який потрапляє на споруди біологічної очистки підприємства. Перша група – мало забруднені води – утворюються після очищення технологічного обладнання, трубопроводів, автоцистерн, тари, підлог і панелей виробничих приміщень. Також до цієї групи слід віднести стічні води з охолоджуючих систем, опалювальної, господарчі та інші, що не відносяться до технологічних процесів переробки сировини. Друга група – сильно забруднені води – формуються безпосередньо в результаті переробки сировини у готову продукцію у відділі приймання сировини (молока) та лабораторії, цеху сиру, цеху масла, цеху плавлених сирів. Загальний сток сильно забруднених вод формується зі стічних вод, які поступають з усіх видів виробництва. Так, наприклад, у літній період у загальний сток потрапляє води:

- з цеху сиру близько 15–20 м³/добу;
- з цеху масла – 9–10 м³/добу;
- з цеху плавлених сирів – 7–16 м³/добу;
- з відділу приймання сировини – 2–4 м³/добу.

В окремі дні витрати стічних вод, що утворилися в цеху сиру та цеху плавлених сирів, складали 40 та 31 м³/добу. Таким чином, максимальні витрати

загального потоку сильно забруднених стічних вод складають близько 85 м³/добу.

Експериментально досліджено хімічний склад сильно забруднених стічних вод та загального стоку, який представлений у табл. 1.

Води загального стоку потрапляють на очисні споруди підприємства, які складаються з пісколовки, відстійника та аеротенків біологічної очистки.

Таблиця 1 – Хімічний склад сильно забруднених стічних вод та загального стоку

Показник	Відділ приймання сировини	Цех сиру	Цех масла	Цех плавлених сирів	Загальний сток
pH	7,2	5,7	5,2	6,3	4,0–5,0
Прозорість, см	1,1	1,1	0,9	2,0	1,1–1,5
ХСК, мг О/дм ³	4800	9500	8740	1600	2275–3230
БСК ₅ , мг О/дм ³	2650	4785	4035	910	1182–2232
ЕРР, мг/дм ³	1010	400	900	310	134–172
SO ₄ ²⁻ , мг/дм ³	135	120	130	128	120–148
Cl ⁻ , мг/дм ³	168	370	236	101	337–472
Ca ²⁺ , мг/дм ³	200	400	240	360	240–320
PO ₄ ³⁻ , мг/дм ³	95	160	130	16	87–100
NH ₄ ⁺ , мг/дм ³	6	35	44	16	9–19
ЗР, мг/дм ³	2190	1700	14600	540	600–1080
СЗ, мг/дм ³	2600	8050	6470	1156	2800–3680
ПЗ, мг/дм ³	1200	1350	1070	600	1080–1540

Режим роботи підприємства – двозмінний. Режим водовідведення протягом зміни характеризується нерівномірністю, що зумовлено раптовими викидами промивних вод. При двозмінній роботі підприємства у першу зміну основна кількість стічних вод, що утворюються у цеху сиру, цеху масла та у відділі приймання сировини скидається протягом чотирьох годин (з 10⁰⁰ до 14⁰⁰), а у другу зміну – протягом п'яти годин (з 16⁰⁰ до 21⁰⁰). З цеху плавлених сирів стічні води поступають лише у першу зміну (з 9⁰⁰ до 17⁰⁰). Загальна кількість стічних вод коливається в широких межах і у літній період часу складає 200–460 м³/добу.

В результаті виробничої діяльності перша група стічних вод змішується з другою і весь потік потрапляє на споруди біологічної очистки. Проведені дослідження дозволили встановити хімічний склад загального стоку підприємства, який представлений у табл. 2. Для порівняння у таблиці наведені максимально допустимі значення показників хімічного складу стічних вод, що надходять на споруди біологічної очистки [30].

Обговорення результатів

Дослідження умов утворення стічних вод молокопереробного підприємства свідчить про те, що цей процес відбувається у складних виробничих умовах, що включають раптові викиди сильно забруднених стоків з високою концентрацією основних забруднювачів, нестабільний об'єм вод, які утворюються в різних технологічних процесах, залежність об'єму і складу вод від сезону, виробничої зміни, часу доби роботи та ін. Таким чином, процеси моделювання і прогнозування формування загального стоку підприємства є ускладненими і повинні враховувати багато факторів.

Порівняльна характеристика окремих виробництв молокопереробного підприємства (табл. 1) свідчить про те, що найбільш забруднені стічні води утворюються в процесі виробництва масла (цех масла) і сиру (цех сиру). Ці води характеризуються низьким рН, високими значеннями ХСК, ЕРР, хлоридів, фосфатів, ЗР, СЗ та ПЗ. Меншими концентраціями вище перелічених забруднювачів характеризуються стічні води з відділення приймання сировини та цеху плавлених сирів.

Як видно з отриманих даних (табл. 2), хімічний склад загального стоку молокопереробного підприємства не відповідає вимогам, що пред'являються до стоків, які потрапляють на очисні споруди біологічної очистки. Норми суттєво перевищені по наступним показникам: ХСК – у 4–24 рази; ЕРР – у 8–26 разів; фосфатів – у 10–15 разів;

ЗР – у 4–10 разів. Характер реакції середовища рН стічних вод є кислим, в той час по нормам має бути нейтральним або слабко лужним. Тому для попередження загибелі активного мулу у спорудах біологічної очистки необхідна попередня обробка та очистка стічних вод для приведення вищевказаних показників до необхідних норм.

Таблиця 2 – Хімічний склад загального стоку підприємства та максимально допустимі значення показників стічних вод, що надходять на споруди біологічної очистки

Показник	Загальний сток стічних вод підприємства	Максимально допустиме значення показника
рН	4,0–6,5	6,5–9,0
Прозорість, см	0,6–1,5	Не нормується
ХСК, мг О/дм ³	2060–12000	500
БСК ₅ , мг О/дм ³	1032–6000	–
Співвідношення ХСК : БСК ₅	2,0	< 2,5
ЕРР, мг/дм ³	390–1280	50
SO ₄ ²⁻ , мг/дм ³	147–160	400
Cl ⁻ , мг/дм ³	168–400	350
Ca ²⁺ , мг/дм ³	150–200	Не нормується
PO ₄ ³⁻ , мг/дм ³	100–145	10
NH ₄ ⁺ , мг/дм ³	6–12	30
ЗР, мг/дм ³	1200–2900	300
СЗ, мг/дм ³	1800–4200	Не нормується
ПЗ, мг/дм ³	840–1180	Не нормується

Висновки

В результаті проведених досліджень встановлені закономірності і умови утворення та експериментально визначено хімічний склад стічних вод молокопереробного підприємства Сумської області. Отримані результати дозволили зробити наступні висновки:

1) Досліджені умови та закономірності утворення, режими скиду і формування стічних вод молокопереробного підприємства. Установлено, що процес формування загального стоку відбувається у складних виробничих умовах, що включають раптові викиди сильно забруднених стоків з високою концентрацією основних забруднювачів, нестабільний об'єм вод, які утворюються в різних технологічних процесах, залежність об'єму і складу вод від сезону, виробничої зміни і часу доби та ін.

2) Експериментально досліджено хімічний склад стічних вод за основними показниками, які регламентуються при викиді стоків у систему водовідведення та у споруди біологічної очистки. Визначено, що хімічний склад загального стоку

молокопереробного підприємства не відповідає вимогам, що пред'являються до стоків, які потрапляють на споруди біологічної очистки. Норми суттєво перевищені по наступним показникам: ХСК – у 4–24 рази; ЕРР – у 8–26 разів; фосфатів – у 10–15 разів; ЗР – у 4–10 разів. Показник реакції середовища рН стічних вод є кислим, в той час по нормам має бути нейтральним або слабко лужним. Порівняльна характеристика окремих виробництв свідчить про те, що найбільш забруднені стічні води утворюються в процесі виробництва масла (цех масла) і сиру (цех сиру). Ці води характеризуються низьким рН, високими значеннями ХСК, ЕРР, хлоридів, фосфатів, ЗР, СЗ та ПЗ. Меншими концентраціями вище вказаних забруднювачів характеризуються стічні води з відділення приймання сировини та цеху плавлених сирів. Очевидно, що для попередження загибелі активного мулу у спорудах біологічної очистки необхідна попередня обробка стічних вод для приведення вищевказаних показників до необхідних норм.

ЛІТЕРАТУРА

1. Сакаш Г. В., Колова А. Ф., Пазенко Т. Я. Очистка сточных вод предприятий по переработке молока. *Вестник КрасГАУ*, 2016. №8. С. 97-103.
2. Шевченко Т. А., Шевченко А. А. Экспериментальное исследование интенсификации процесса напорной флотации при очистке сточных вод молокоперерабатывающего предприятия. *Восточно-европейский журнал передовых технологий*, 2015. №1/6(79). 2015. С. 4-12.
3. Андронов В. А., Данченко Ю. М., Макаров С. О. Обґрунтування використання електрохімічних методів для попередньої очистки стічних вод молокопереробних підприємств. *Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення*: збірник наукових статей XV Міжнародної науково-практичної конференції. Харків: УКРНДІЕП: ПП «Стиль-Іздат», 2019. С. 9-13.
4. Макаров С. О. Екологічна безпека висококонцентрованих стічних вод молокопереробних підприємств. *Сталій розвиток – стан та перспективи: Матеріали II Міжнародного симпозіуму SDEV'2020*. Львів, 2020. С. 235-236.
5. Коневич М., Гудь В. Особливості стічних вод молокозаводів. *Матеріали XV наукової конференції ТНТУ імені Івана Пулюя*. Тернопіль, 2011. С. 309.
6. Матейко Н. В., Малькевич Н. Г. Анализ сточных вод молочной отрасли. *Сборник материалов 73-й студенческой научно-технической конференции*. БНТУ, Минск. 2017. С. 155-160.
7. Голубева Л. В., Глаголева Л. Э., Степанов В. М., Тихомирова Н. В. Проектирование предприятий молочной отрасли с основами промышленного строительства. СПб: ГИОРД, 2010. 288 с.
8. Дятлова Т. В., Певнев С. Г., Федоровская Т. Г. Очистка сточных вод молокозаводов. СПб: Водоснабжение и санитарная техника, 2008. 201 с.
9. Гіроль М. М., Гіроль А. М. Технології водовідведення промислових підприємств: Навчальний посібник. Рівне: НУВГП, 2013. 625 с.
10. Эпоян С., Фомин С., Фомина И. Интенсификация сооружений биологической очистки сточных вод молокозаводов. *MOTROL COMMISSION OF MOTORIZATION AND ENERGETICS IN AGRICULTURE*, 2013. Vol.15, No.6. Pp. 133-140.
11. Физико-химические методы очистки сточных вод предприятий молочной промышленности. Цельномолочная промышленность: обзорная информация ЦНИИТЭИ мясомолпром. М., 1980. 44 с.
12. Зуева С. Б., Матющенко И. Н., Ноздрин Е. О. Особенности коагуляционной очистки сточных вод молочной промышленности с использованием фильтрационного осадка свеклосахарного производства. *Вода: химия и экология*, 2012. №6. С. 76-79.
13. Феофанов Ю. А., Литманова Н. Л. Об эффективности коагуляционной очистки сточных вод предприятий молочной промышленности. *Известия Вузов. Химия и химическая технология*, 2005. Т.48, вып. 3. С. 113-115.
14. Феофанов Ю. А., Литманова Н. Л. Механизм коагуляционной очистки сточных вод оксохлоридом алюминия. *Журнал прикладной химии*, 2001. Т. 74, № 8. С. 337-339.
15. Dakovic S. Waste water treatment in the oil industry. *Fette, Seifen, Anstrichmittel*, 1985. №1. Pp. 11-15.
16. Catawan R. Milking money from wastewater. *Dairy Foods*, 1990. V. 91, №11. Pp. 87-92.
17. Гівлюд А. М., Сабадаш В. В., Гумницький Я. М. Обґрунтування можливості використання природного цеоліту для очищення стічних вод молокозаводів. *Вісник ЛДУ БЖД. Збірник наукових праць*, 2015. №12. С. 185-190.
18. Мальований М. С., Петрушка І. М. Очищення стічних вод природними дисперсними сорбентами: монографія. Львів: Вид-во «Львівська політехніка», 2012. 180 с.
19. Эпоян С. М., Лукашенко С. В. Применение эластичного пенополиуретана для очистки жиросодержащих сточных вод мясомолочной промышленности. *Научный вестник будівництва*, 1999. Вип.6. С.148-151.
20. Лукашенко С. В. Підвищення ефективності обробки жиромістких стічних вод м'ясо-молочної промисловості. Автореферат дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук. Спец-ть 05.23.04 – водопостачання, каналізація. Харків, 2003. 18 с.
21. Полетаева М. А., Осадчая О. С., Рузаева Н. А. Пути решения проблемы очистки сточных вод молочного предприятия. *Ползуновский вестник*, 2013. №1. С. 273-275.
22. Gerson de Freitas Silva Valente, Regina Celia Santos Mendonca, Jose Antonio Marques Pereira. The efficiency of electrocoagulation using aluminum electrodes in treating wastewater from a dairy industry. *Ciencia Rural, Santa Maria*, 2015. V. 45, Is. 9. Pp. 1713-1719.
23. Chezeau B., Boudriche L., Vial C., Boudjema A. Treatment of dairy wastewater by electrocoagulation process: Advantages of combined iron/aluminum electrodes (published online 15.07.2019). *Separation Science and Technology*, 2019. 15 p.
24. Aitbara A., Cherifi M., Hazourli S. and Leclerc J.-P. Continuous treatment of industrial dairy effluent by electrocoagulation using aluminum electrodes. *Desalination and Water Treatment*, 2016. V. 57, Is. 8. P. 3395-3404.
25. Benaissa F., Kermet-Said H. and Moulai-Mostera N. Optimization and kinetic modeling of electrocoagulation treatment of dairy wastewater. *Desalination and Water Treatment*, 2016. V. 57, Is. 13. P. 5988-5994.
26. Varank G., Sabuncu M. E. Application of Central Composite Design approach for dairy wastewater treatment by electrocoagulation using iron and aluminum electrodes: modeling and optimization. *Desalination and Water Treatment*, 2015. V. 56, Is. 1. Pp. 33-54.
27. Озорнова А. В. Исследование флотационного процесса очистки сточных вод молочного производства и разработка способа его интенсификации. *Молодежный научно-технический вестник*, 2016. №11. С. 20.
28. Терновська О. І., Ковтун С. Б., Кукушкін А. І., Д'яконов В. І., Чеботарьова О. В., Фесенко Г. В. Очистка промислових стоків підприємств по переробці тваринницької продукції від жиру. *Комунальне господарство міст*, 2015. Вип. 124. С. 39-42.
29. Лурье Ю. Ю. Аналитическая химия промышленных сточных вод. М.: «Химия», 1984. 448 с.
30. Наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України №316 від 01.12.2017. Про затвердження Правил приймання стічних вод до систем централізованого водовідведення та Порядку визначення розміру плати, що справляється за понаднормативні скиди стічних вод до систем централізованого водовідведення. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0056-18#n15> (дата звернення: 04.04.2020).

Andronov V., Makarov Ye., Danchenko Yu., Obigenko T.

RESEARCH OF THE REGULARITIES OF FORMING AND CHEMICAL COMPOSITION OF SEWAGE WATER OF A DAIRY PROCESSING COMPANY

The article established the laws and conditions of formation, as well as experimentally determined the chemical composition of the wastewater of a dairy processing company in Sumy region. The conditions of formation, wastewater discharge regime is investigated. It is shown that the process of formation of total runoff occurs in difficult production conditions, including sudden emissions of heavily polluted effluents with a high concentration of main pollutants, unstable volume of water generated in various technological processes, the dependence of the volume and composition of water on the season, production shift, time of day and other. Wastewater generated at the enterprise is divided into two groups. Both groups form a common runoff that falls into biological treatment facilities. The first group – slightly polluted water – is formed after cleaning technological equipment, pipelines, tankers, containers, floors and panels of industrial premises. The second group – heavily polluted waters – is formed directly as a result of processing raw materials into finished products in the department for the acceptance of raw materials (milk) and the laboratory, cheese workshop, butter workshop, processed cheese workshop. The total amount of wastewater varies widely and, in the summer, period is 200–460 m³/day. The chemical composition of wastewater has been experimentally investigated by the main indicators that are regulated when wastewater is discharged into the sewage system. It was determined that the chemical composition of the total flow of the milk processing enterprise does not meet the requirements for effluents entering the treatment plant of biological treatment. The norms are significantly exceeded in the following indicators: chemical oxygen consumption (COC) – 4–24 times; ether-soluble substances (ESS) – 8–26 times; phosphates – 10–15 times; suspended solids (SS) – 4–10 times. The nature of the reaction of the pH of the wastewater is acidic, while by standards it should be neutral or slightly alkaline. It has been established that the most polluted wastewater is formed during the production of oil (oil workshop) and cheese (cheese workshop). These waters are characterized by low pH, high values of COC, ESS, SS, chlorides, phosphates, dry residue (DR) and calcined residue (CR). Lower concentrations of the main pollutants are characterized by wastewater from the raw materials acceptance department and the processed cheese workshop. It is shown that to prevent the death of activated sludge in biological treatment plants, pre-treatment of wastewater is necessary to bring the above indicators to the required standards.

Key words: dairy processing company, wastewater, chemical composition.

REFERENCES

1. Sakash, G. V., Kolova, A. F., Pazenko, T. Ya. (2016). Ochistka stochnykh vod predpriatii po pererabotke moloka. Vestnik KrasGAU, 8, 97-103.
2. Shevchenko, T. A., Shevchenko, A. A. (2015). Eksperimentalnoie issledovaniie intensifikatsii protsessa napornoj flotatsii pri ochistke stochnykh vod molokopererabatyvaiushchego predpriatiia. Vostochno-Evropeskii zhurnalпередovykh tekhnologii, 1/6(79), 4-12.
3. Andronov, V. A., Danchenko, Yu. M., Makarov, Ye. O. (2019). Obgruntuvannia vykorystannia elektrokhimichnykh metodiv dlia poperednoyi ochistky stichnykh vod molokopererobnykh pidpriemstv. Ekolohichna bezpeka: problem I shliakhy vyrishennia: zbirnyk naukovykh statei XV Mizhnarodnoy naukovo-praktychnoy konferentsii. Kharkiv: UKRNDIEP, 9-13.
4. Makarov, Ye. O. (2020). Ekolohichna nebezpeka vysokokontsentrovanykh stichnykh vod molokopererobnykh pidpriemstv. Stalyi rozvytok – stan ta perspektyvy: Materialy II Mizhnarodnoho sympoziumu SDEV'2020. Lviv, 235-236.
5. Konevych, M., Hud, V. (2011). Osoblyvosti stichnykh vod molokozavodiv. Materialy XV naukovoy konferentsii TNTU imeni Ivana Puliuia. Ternopil, 309.
6. Mateyko, N. V., Malkevich, N. G. (2017). Analiz stochnykh vod molochnoy otrasli. Sbornik materialov 73 studencheskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, Minsk, 155-160.
7. Golubeva, L. V., Glagoleva, L. E., Stepanov, V. M., Tikhomirova, N. V. (2010). Proektirovaniie predpriatii molochnoi otrasli s osnovami promstroitelstva. SPb, GIOR, 288.
8. Diatlova, T. V., Pevnev, S. G., Fedorovskaia, T. G. (2008). Ochistka Stochnykh vod molokozavodov. SPb, Vodospabzheniie I sanitarnaia tekhnika, 201.
9. Hirol, M. M., Hirol, A. M. (2013). Tekhnologii vodovidvedennia promyslovykh pidpriemstv. Navchalnyy posibnyk. Rivne, 625.
10. Epoian, S., Fomin, S., Fomina, I. (2013). Intensifikatsiia sooruzheniy biologicheskoy ochistki stochnykh vod molokozavodov. MOTROL. COMMISSION OF MOTORIZATION AND ENERGETICS IN AGRICULTURE, 15, 6, 133-140.
11. Fiziko-khimicheskie metody ochistki stochnykh vod predpriatii molochnoy promyshlennosti. (1980). Tselnomolochnaia promyshlennost: obzornaia informatsiia TSNITEI miasomolprom, 44.
12. Zueva, S. B., Matiushchenko, I. N., Nozdrina, E. O. (2012). Osobennosti koagulyatsionnoy ochistki stochnykh vod molochnoy promyshlennosti s ispolzovaniem filtratsionnogo osadka sveklosakharnogo proizvodstva. Voda: khimiia i ekologiia, 6, 76-79.
13. Feofanov, Yu. A., Litmanova, N. L. (2005). Ob effektivnosti koagulyatsionnoi ochistki stochnykh vod predpriatii molochnoy promyshlennosti. Izvestiia Vuzov. Khimiia I khimicheskaiia tekhnologiia, 48, 3, 113-115.
14. Feofanov, Yu. A., Litmanova, N. L. (2001). Mekhanizm koagulyatsionnoy ochistki stochnykh vod oksokloridom aliuminiia. Zhurnal prikladnoy khimii, 74, 8, 337-339.
15. Dakovic, S. (1985). Waste water treatment in the oil industry. Fette, Seifen, Anstrichmittel, 1, 11-15.
16. Catawan, R. (1990). Milking money from wastewater. Dairy Foods, 91, 11, 87-92.
17. Hivliud, A. M., Sabadash, V. V., Humnytsky, Ya. M. (2015). Obgruntuvannia mozhlyvosti vykorystannia pryrodnoho tseolitu dlia ochyshchennia stichnykh vod molokozavodiv. Visnyk LDU BZhd. Zbirnyk naukovykh prats, 12, 185-190.
18. Malievanyy, M. S., Petrushka, I. M. (2012). Ochyshchennia stichnykh vod pryrodnyimi dispersnymi sorbentami: monohrafia, Lviv, 180.
19. Epoian, S. M., Lukashenko, S. V. (1999). Primeneniie elastichnogo penopoliiuretana dlia ochistki zhirosoderzhashchikh stochnykh vod miasomolochnoy promyshlennosti. Naukovyy visnyk budivnytstva, Kharkiv, 6, 148-151.
20. Lukashenko, S. V. (2003). Pidvyshchennia efektyvnosti obrobky zhirovnishchuiushchikh stichnykh vod miaso-molochnoyi promyslovosti. Avtoreferat dys. Na zdobuttia nauk. stup. kand. tekhn. nauk. Spetsialnist 05.23.04 – vodopostachannia, kanalizatsiia. Kharkiv, 18.
21. Poletaieva, M. A., Osadchaia, O. S., Ruzaieva, N. A. (2013). Puti resheniia problemy ochistki stochnykh vod molochnogo predpriatiia. Polzunovskiy vestnik, 1, 273-275.
22. Gerson de Freitas Silva Valente, Regina Celia Santos Mendonca, Jose Antonio Marques Pereira. (2015). The efficiency of electrocoagulation using aluminum electrodes in treating wastewater from a dairy industry. Ciencia Rural, Santa Maria, 45, 9, 1713-1719.
23. Chezeau, B., Boudriche, L., Vial, C., Boudjemaa, A. (2019). Treatment of dairy wastewater by electrocoagulation process: Advantages of combined iron/aluminum electrodes (published online 15.07.2019). Separation Science and Technology, 15.

24. Aitbara, A., Cherifi, M., Hazourli, S., Leclerc, J.-P. (2016). Continuous treatment of industrial dairy effluent by electrocoagulation using aluminum electrodes. *Desalination and Water Treatment*, 57, 8, 3395-3404.
25. Benaissa, F., Kermet-Said, H., Moulai-Mostera, N. (2016). Optimization and kinetic modeling of electrocoagulation treatment of dairy wastewater. *Desalination and Water Treatment*, 57, 13, 5988-5994.
26. Varank, G., Sabuncu, M. E. (2015). Application of Central Composite Design approach for dairy wastewater treatment by electrocoagulation using iron and aluminum electrodes: modeling and optimization. *Desalination and Water Treatment*, 56, 1, 33-54.
27. Ozornova, A. V. (2016). Issledovaniie flotatsionnogo protsesssa ochistki stochnykh vod molochnogo proizvodstva I razrabotka sposoba iego intensifikatsii. *Molodiozhnyy nauchno-tekhnicheskiy vestnik*, 11, 20.
28. Ternovska, O. I., Kovtun, S. B., Kukushkin, A. I., Diakonov, V. I., Chebotarova, O. V., Fesenko, H. V. (2015). Ochistka promyslovykh stokiv pidpriemstv po pererobtsi tvarynnytskoy produktsii vid zhyru. *Komunalne hospodarstvo mist*, 124, 39-42.
29. Lurie, Yu. Yu. (1984). Analiticheskaia khimiia promyshlennykh stochnykh vod. M., "Khimia", 448.
30. Nakaz Ministerstva rehionalnoho rozvytku, budivnytstva ta zhitlovo-komunalnoho hospodarstva Ukrainy №316 vid 01.12.2017. Pro zatverdzhennia Pravyl pryumannia stichnykh vod do system tsentralizovanoho vodovidvedennia ta Poriadku vyznachennia rozmiru platy, shcho spravliaietsia za ponadnormatyvni skydy stichnykh vod do system tsentralizovanoho vodovidvedennia. Available: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0056-18#n15>.