THE CONCEPT USE OF ELECTRODIALTORS IN THE WATER TREATMENT EQUIPMENT IN RESPONSE TO SUBTLEMENTAL SITUATIONS IN FOOD PRODUCTION

N. Zaiets

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

V. Shtepa

Kiev National University of Technology and Design

Key words:

*Electrotechnological
complex
Automation
Abnormal situation
Maximum permissible
concentration
Electrodialysis*

Article history:

Received 11.03.2019

Received in revised form
01.04.2019

Accepted 19.04.2019

Corresponding author:

N. Zaiets

E-mail:

nphuht@ukr.net

ABSTRACT

The article assesses the relevance of the solution of the scientific and technical problem of improving the approaches to the removal of pollutants from the wastewater of food production, taking into account emergency situations. Key pollutants of dairy, bakery, alcohol and sugar enterprises were identified. On the basis of systematization of types of pollutants from wastewater of enterprises, a list of pollutants with the largest concentrations has been formed and typical ways to eliminate them are presented. A classification of wastewater pollutants and methods for their purification are proposed, based on the specifics of real objects by analyzing the recommendations of regulatory documents for designing wastewater treatment systems to the maximum allowable concentrations.

Gradation of emergency situations in the context of the environmental safety and the ability of treatment plants to counteract their negative consequences was developed. The architecture of the system for removing pollutants from food production effluents is complemented by a block for utilization of concentrated wastewater. The existing technical solutions for deep water purification are analyzed and it is proposed to use the electrodialysis installation electro-technological complex in emergency situations.

An imitative assessment of the energy parameters of using electrodialysis equipment was carried out at various static values of the quality of the aqueous solution and performance indicators. The calculation of the parameters of the imitational study of the electrodialysis water treatment process was based on the typical recommendations of electrodialysis designing, and the value of wastewater flow rates varied from 20 m³/h to 110 m³/h with a step of 30 m³/h. The results of the simulation assessment demonstrated the acceptability of the proposed approach to the application of electrical technologies in emergency situations in the food industry.

DOI: 10.24263/2225-2924-2019-25-2-18

КОНЦЕПЦІЯ ВИКОРИСТАННЯ ВОДООЧИСНОГО ЕЛЕКТРОДІАЛІЗНОГО ОБЛАДНАННЯ ПРИ НЕШТАТНИХ СИТУАЦІЯХ НА ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВАХ

Н.А. Засць

Національний університет біоресурсів і природокористування України

В.М. Штепа

Київський національний університет технологій та дизайну

У статті оцінено актуальність вирішення науково-технічного завдання удосконалення підходів щодо видалення забруднювачів зі стічних вод харчових виробництв з урахуванням нештатних ситуацій. Виділено ключові забруднювачі стоків молокозаводу, хлібокомбінату, спиртового та цукрового підприємств. На основі систематизації типів забруднювачів стічних вод підприємств сформовано перелік забруднювачів із найбільшими концентраціями та представлено типові способи їх усунення. Запропоновано класифікацію забруднювачів стічних вод і способів їх очищення, виходячи зі специфіки реальних об'єктів за допомогою аналізу рекомендацій нормативних документів проектування систем очищення стоків до гранично допустимих концентрацій.

Розроблено градацію нештатних ситуацій у контексті екологічної безпеки довкілля та здатності очисних споруд протидіяти їхнім негативним наслідкам. Архітектуру системи видалення забруднювачів із стоків харчових виробництв доповнено блоком утилізації концентрованих стічних вод. Проаналізовано існуючі технічні рішення глибокого водоочищення та запропоновано при нештатних ситуаціях використовувати електротехнологічний комплекс електродіалізної установки.

Проведено імітаційну оцінку енергетичних параметрів використання електродіалізного обладнання при різних статичних значеннях якості водного розчину та експлуатаційних показників. Розрахунок параметрів імітаційного дослідження процесу електродіалізного водоочищення базувався на типових рекомендаціях проектування електродіалізерів, а значення витрат стічних вод змінювалось від 20 м³/год до 110 м³/год із кроком 30 м³/год. Отримані результати імітаційної оцінки продемонстрували прийнятність запропонованого підходу застосування електротехнологій при нештатних ситуаціях на харчових виробництвах.

Ключові слова: електротехнологічний комплекс, автоматизація, нештатна ситуація, гранично допустима концентрація, електродіаліз.

Постановка проблеми. Стічні води підприємств харчової промисловості — це складна фізико-хімічна система, різноманітна як щодо компонентного складу, так і за концентрацією, в якій поряд із розчиненими речовинами містяться частинки різного ступеня дисперсності. Такі стоки містять: жир, молоко, шерсть, кров, солі, мінеральні нерозчинні домішки, миючі засоби тощо.

Ці води характеризуються високими показниками біологічного споживання кисню (БСК), хімічного споживання кисню (ХСК), зважених речовин тощо. При цьому в результаті дії нештатних ситуацій (НС) можливі залпові викиди забруднювачів, коли останні значно перевищують свої проектні значення, створюючи значну екологічну небезпеку для довкілля, що вимагає впровадження у реальний сектор економіки України новітніх методик використання технічних засобів превентивної протидії таким НС.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Без попереднього очищення стоки підприємств харчової індустрії не можуть бути спрямовані на комунальні очисні споруди або в природні водойми. Таке їх надходження призведе до порушення кисневого режиму, видовому зміні мікрофлори та інших негативних процесів [1]. Крім того, стічні води цієї категорії, потрапляючи в каналізаційну мережу, призводять до корозії колекторів, замулювання трубопроводів, збільшують обсяги подачі повітря на аерацію тощо [2].

Застосовувані на промислово-комунальних об'єктах методи і технології очищення висококонцентрованих стоків є недосконалими (головним чином через незначну кількість існуючих вимірювальних комплексів, здатних працювати у режимі реального часу), і, в ряді випадків, не забезпечують необхідний ступінь очищення й утилізацію всіх побічних продуктів [3]. Крім того, застосовувані рішення не завжди є економічно обґрунтованими й енергетично ефективними. При цьому на етапі проектування комплексно не враховується потенційна дія НС, що негативно впливає на експлуатаційну надійність електротехнологічного комплексу харчових виробництв [6].

Тож удосконалення підходів до видалення забруднювачів зі стічних вод з урахуванням НС є актуальним і перспективним науко-технічним завданням.

Мета дослідження: обґрунтування концепції удосконалення науково-технічних рішень видалення забруднювачів зі стоків підприємств харчової індустрії з урахуванням потенційної дії НС шляхом використання електротехнологічних засобів водоочищення.

Матеріали і методика. На основі систематизації забруднювачів стічних вод молокозаводу, хлібокомбінату, спиртового та цукрового підприємств [4] отримано перелік забруднювачів із найбільшими концентраціями та представлено типові способи їх усунення (табл. 1). Аналіз рекомендацій нормативних документів проектування систем очищення стоків до гранично допустимих концентрацій (ГДК) дав змогу запропонувати такі способи очищення: механічний, біологічний, хімічний, фізико-хімічний, реалізуючи їх комбінацію з огляду на специфіку реальних об'єктів (табл. 1).

Таблиця 1. Класифікація забруднювачів стічних вод і способів їх очищення

№ п/п	Забруднювач із максимальною концентрацією	Базові способи очищення стоків від забруднювачів
1	2	3
1	Окислюваність (понад 500 мгО ₂ /л; при нормативних вимогах — 5—7 мгО ₂ /л)	Хімічний, біологічний, фізико-хімічний
2	Запах (понад 60 балів; при нормативних вимогах — 2 бали)	Хімічний, біологічний, фізико-хімічний

Продовження табл. 1

1	2	3
3	БСК _{пов} (понад 3000 мгО ₂ /л; при нормативних вимогах — 3 мгО ₂ /л)	Хімічний, біологічний, фізико-хімічний
4	ХСК (понад 4000 мгО ₂ /л; при нормативних вимогах — біля 15-30 мгО ₂ /л)	Хімічний, біологічний, фізико-хімічний
5	рН (діапазон 4—7; при нормативних вимогах — 6,5—8,5)	Хімічний, фізико-хімічний
6	Фосфор загальний (понад 16 мг/л; при нормативних вимогах — до 2 мг/л)	Хімічний, біологічний, фізико-хімічний
7	Азот загальний (понад 30 мг/л; при нормативних вимогах — 0,5 мг/л)	Хімічний, біологічний, фізико-хімічний
8	Завислі частинки (понад 20000 мг/л; при нормативних вимогах — 50—60 мг/л)	Механічний, хімічний, фізико-хімічний
9	Сухий залишок (понад 10 000 мг/л; при нормативних вимогах — біля 1000 мг/л)	Механічний, хімічний, фізико-хімічний
10	Хлориди (понад 1500 мг/л; при нормативних вимогах — 250 мг/л))	Фізико-хімічний

Нештатні ситуації щодо водоскиду доцільно оцінити з урахуванням їх тривалості, небезпеки для навколишнього природного середовища та способів утилізації продуктів (табл. 2).

Таблиця 2. Оцінка нештатних ситуацій щодо водоскиду на харчових виробництвах

№ п/п	Нештатна ситуація (часово-об'ємна характеристика)	Шляхи усунення	Екологічні наслідки при неякісному очищенні
1	Короткотривалий викид незначного об'єму (без порушення штатного режиму функціонування виробничого обладнання)	Існуючими очисними спорудами у штатному режимі із врахуванням кондиціонування забруднювачів у загальному потоці стічних вод	Відсутні або мінімальні
2	Короткотривалий викид значного об'єму (із порушенням штатного режиму функціонування виробничого обладнання, але із відновленням його функціональності)	Існуючими очисними спорудами при додаткових ресурсозатратах (підвищені дози реагентів, витрати електроенергії)	Значні
3	Зупинка виробництва із накопиченими у технологічному об'ємі концентратів забруднювачів (невикористаних інгредієнтів, продуктів виробничих процесів тощо)	Існуючими очисними спорудами при додаткових ресурсозатратах (підвищенні дози реагентів, витрати електроенергії) та залученням спеціалізованого обладнання (утилізація повинна бути оперативною, щоб не утворились побічні забруднювачі)	Катастрофічні

При цьому критичною межею переходу від значних до катастрофічних наслідків є наявність забруднювачів, які ефективно не видаляються штатним обладнанням очисних споруд і/або потребують застосування нових засобів (наприклад, додаткової номенклатури реагентів), а час на утилізацію кон-

центрованих стоків критично обмежений. Відповідно, режим утилізації — періодичний (виробництво зупинено) до повного усунення небезпеки для довкілля (табл. 2).

Схему очисних споруд із здатністю протидіяти катастрофічним НС доцільно спроектувати у вигляді байпасного контуру: із поверненням, при необхідності, концентрованих стічних вод на повторне опрацювання у блоці утилізації (рис. 1).

Рис. 1. Варіант комбінованого комплексу електротехнологічних процесів очищення стоків харчових виробництв з урахуванням дії НС
(осад блоку первинного механічного очищення подається на блок опрацювання осадку)

В електротехнологічний комплекс водоочищення (рис. 1) необхідно інтегрувати блок керування (рис. 2), який би вирішував завдання: подачі/неподачі стоків на очисні споруди; оцінка стану якості стоків, які надходять на очищення та їх якості після очищення; розрахунок додаткових ресурсовитрат для протидії НС різного характеру (табл. 2).

Завдання блоку керування при дії НС забезпечити електротехнологічні процеси для:

- збільшення доз реагентів для нейтралізації;
- збільшення доз флокулянтів;
- збільшення доз коагулянтів;

- можливого транспортування концентрованих стоків повз біологічне очищення — мікроорганізми у біореакторах можуть загинути, наприклад, від залпових викидів токсичних сполук;
- збільшення доз для знезараження;
- інтенсифікація біологічних процесів;
- вибір режимів блоку утилізації.

Рис. 2. Структура електротехнологічного комплексу реалізації процесів очищення стоків харчових виробництв з урахуванням нештатних ситуацій

Аналізуючи структуру забруднювачів (табл. 1) можна стверджувати, що більшість типових забруднювачів видаляються в основній схемі очисних споруд (рис. 1) шляхом:

- збільшення подачі реагентів і діючих сполук;
- інтенсифікації біологічного окислення повітря;
- часу опромінення.

Однак для отримання ГДК за вмістом *хлоридів, ХСК та сухого залишку* необхідно застосувати одне з технічних рішень глибокого водоочищення [5]:

1. Дистилювання. Діапазон застосування: очищення води до дистилату ($200 \text{ кОм} \cdot \text{см}$). Метод відносно простий, однак дуже енергозатратний (більш $0,7 \text{ кВт/дм}^3$) і великі втрати води на допоміжні потреби (на 1 дм^3 дистилату витрачається 7 дм^3 і більше вихідної води для охолодження). При цьому без попереднього пом'якшення води, що очищається, дистилатор швидко заростає накипом, що різко збільшує його енергоємність. Очищення дистилатора від накипу — процес тривалий і дорогий.

2. Іонообмін. Діапазон застосування: від очищення води середньо мінералізованої (менше 4 г/дм^3) до води глибокої очистки ($18 \text{ Мом} \cdot \text{см}$). До недоліків відноситься необхідність періодичної регенерації смол хімічними реагентами (розчинами сірчаної або соляної кислот або їдкого натру), що робить цей метод складним в обслуговуванні й екологічно небезпечним. Втрати вихідної води — $3\text{—}5\%$ на регенерацію і промивку.

3. Зворотний осмос. Діапазон застосування: від сильно мінералізованої (40 г/дм^3) до дистилату ($200\text{—}250 \text{ кОм} \cdot \text{см}$). До переваг методу відноситься робота у широкому діапазоні забруднювачів, глибоке очищення від мікрочастинок, органіки і токсинів. До недоліків відносяться підвищені вимоги до попередньої підготовки води, що очищається (вміст вільного хлору не більше $0,1 \text{ мг/дм}^3$, загального заліза — не більше 50 мкг/дм^3 , колоїдний індекс — не більше 4). Метод досить складний і вимагає підвищеної уваги при обслуговуванні. Картриджі такого фільтру працюють при підвищеному тиску та мають середній термін служби 15 місяців. При цьому втрати вихідної води із солевим концентратом від 60% до 20% (залежно від мінералізації вхідної води).

4. Електродіаліз. Процес мембранного поділу, в якому іони розчиненої речовини переносяться через мембрану під дією електричного поля. Рушійною силою процесу є градієнт електричного потенціалу. Електричний струм переносить катіони з вихідного розчину в потік концентрату через катіонообмінну мембрану, розташовану з боку катоду. Катіони затримуються в цьому потоці аніонообмінної мембраною з боку катоду.

Саме останній електротехнічний агрегат вибирається як «Блок утилізації» (рис. 2), оскільки:

- має незначні витрати електроенергії — $1\text{—}2 \text{ Вт/дм}^3$;
- відбувається очищення води різної мінералізації до будь-якої чистоти, при цьому є можливість регулювання глибини очищення води регулюванням дебету води, що очищається;
- мають місце мінімальні втрати вихідної води (безповоротні втрати тільки на етапі її попередньої підготовки — до 10%);
- очищує рідкі радіоактивні відходи;

- забезпечує очищення хімічних скидів з поверненням до 90% чистої води в технологічний процес;
- збільшує концентрацію хімічних розчинів (до 4%);
- можлива повна автоматизація такого електротехнологічного водоочищення;
- комплекс може працювати у періодичному режимі з оперативним, при необхідності, включенням у схему системи видалення забруднювачів без складних підготовчих операцій.

Імітаційну оцінку енергетичних параметрів використання електродіалізного обладнання провели при різних статичних значеннях якості водного розчину й експлуатаційних показників (табл. 3).

Таблиця 3. Параметри імітаційного дослідження процесу електродіалізного водоочищення

Параметр	Значення	Одиниця вимірювання
Концентрація іонів Ca^{2+}	6	мг-екв/дм ³
Концентрація іонів Mg^{2+}	5	мг-екв/дм ³
Концентрація іонів Na^{2+}	12	мг-екв/дм ³
Концентрація іонів HCO_3	11	мг-екв/дм ³
Концентрація іонів SO_4^{2-}	9	мг-екв/дм ³
Концентрація іонів Cl^-	43	мг-екв/дм ³
Температура вхідної води	+17	°C
Мінералізація після водоочищення	700	мг/дм ³
Плановий вихід по струму	0,87	—
Густина струму	8,87	А/м ²

Значення витрат змінювалось від 20 м³/год до 110 м³/год із кроком 30 м³/год. Розрахунок базувався на типових рекомендаціях проектування електродіалізерів [6].

Отримані результати імітаційної оцінки продемонстрували прийнятність запропонованого підходу застосування електротехнологій для протидії НС (рис. 3, 4).

Рис. 3. Теоретична оцінка витрат електроенергії в електродіалізній установці при змінних витратах стоків

Рис. 4. Теоретична оцінка витрат електроенергії на очищення 1 м³ водного розчину електродіалітичним комплексом при змінних витратах стоків (ураховується функціонування електронасосних агрегатів)

Водночас недоліком електродіалітичного устаткування є необхідність попереднього очищення, особливо стосовно показників:

- окислюваність — не більше 5 мгО₂/дм³;
- концентрація завислих частинок — не більше 2 мг/дм³;
- сумарна концентрація загального заліза та марганцю — не більше 0,05 мг/дм³.

Саме у випадку настання НС (особливо потенційно катастрофічного характеру) необхідно передавати додаткову інформацію на блок керування (рис. 2) стосовно орієнтовних концентрацій забруднювачів, які потрапляють у стічні води від технологічних процесів (рис. 5).

Рис. 5. Структура подання додаткової інформації на блок керування водоочищенням (режим нештатної ситуації)

Застосування таких модулів (рис. 5) дасть ефективніше та надійніше експлуатувати електротехнологічний комплекс електродіалізера, оскільки забезпечить ефективну попередню очистку на елементах основних очисних

споруд і розрахунок режимів самого електродіалізера до потрапляння у нього висококонцентрованих стоків.

Висновки

Виділено ключові забруднювачі стоків молокозаводу, хлібокомбінату, спиртового та цукрового підприємств та проведено класифікацію способів їх очищення. Показано, що для забезпечення ефективної протидії нештатним ситуаціям на харчових виробництвах за каналом «водоскид» необхідно передбачити на основних очисних спорудах можливість оперативного збільшення витрат реагентів та інших ресурсів при настанні НС. Також у схему водоочищення необхідно включити блок утилізації висококонцентрованих стоків, застосувавши як останній електротехнологічний комплекс електродіалізера (імітаційно встановлено загальні енерговитрати на видалення забруднювачів із 1 м^3 потенційних стоків підприємств — порядку $0,2 \div 1,0 \text{ кВт} \cdot \text{год}$).

Література

1. Чеботаева М. В. Очистные сооружения BIOMAR® в индустрии напитков в России. *Отраслевой научно практический журнал «Пиво и Напитки»*. 2008. № 4. С. 44—45.
2. Шустер К. Технология напорной флотации B&S-DAF. *Научно-практический журнал «Экология производства»*. 2007. № 4. С 1—4.
3. Гончаров Ф., Штепа В., Методологія підвищення екологічної безпеки об'єктів агропромислової та харчової індустрій. *Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України*. 2012. № 16 (30), ч. 2. С. 97—10.
4. Засць Н., Штепа В., Систематизація електротехнологічних комплексів водоочищення харчових виробництв. *Енергетика і автоматика*: електрон. наук. фахове вид. 2018. № 4. С. 49—62. URL: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Energiya/article/view/11554>, (дата звернення : 08.11.2018).
5. URL: <http://aquaros.ru/analiticheskij-obzor-metodov-ochistki-vody> (дата звернення: 24.11.2018).
6. Chao Y., Liang T. A feasibility study of industrial wastewater recovery using electrodialysis reversal. *Desalination*. 2008. V. 221. No. 3. P. 433—439.