

Технічні науки

Епова Лідія Олексіївна

кандидат біологічних наук, провідний науковий співробітник

Карпатський біосферний заповідник,

Філія Інституту екології Карпат НАН України

Erova Lidiya

Candidate of Biological Sciences, Senior Research Fellow

Carpathian Biosphere Reserve,

Branch of the Institute of Ecology of the Carpathians of the

National Academy of Sciences of Ukraine

ДИЗАЙН ЕКОСИСТЕМИ СУЧАСНИХ МОДУЛІВ ВОДООЧИЩЕННЯ DESIGN OF ECOSYSTEM FOR MODERN WATER PURIFICATION MODULES

Анотація. Вступ. У статті досліджено концептуальні підходи до побудови системи обліку та аналізу витрат, пов'язаних із дизайном екосистеми сучасних модулів водоочищення. Сучасні екологічні виклики вимагають впровадження інноваційних технологій, які сприяють підвищенню ефективності очищення води та забезпечують сталий розвиток. Основна увага приділена розробці та вдосконаленню системи модулів, що забезпечують максимальну ефективність процесу водоочищення, мінімізацію витрат та гармонійне впровадження в загальну екосистему підприємства.

Сучасні екологічні умови та зростаючі вимоги до якості води роблять ринок технологій водоочищення одним із найважливіших секторів для глобальної економіки. Глобалізація процесів у цій сфері та розвиток конкурентного середовища змушують підприємства шукати нові підходи до

проектування та впровадження систем водоочищення. У зв'язку з цим виникає потреба в розробці інноваційних рішень, які б поєднували екологічну безпеку, економічну ефективність та довготривалість експлуатації.

Мета. Метою дослідження є розкриття концептуальних підходів до побудови екосистеми сучасних модулів водоочищення, аналіз їхньої ефективності та впровадження на підприємствах. Дослідження також охоплює питання систематизації витрат на впровадження модулів та їхню інтеграцію в загальну систему екологічного менеджменту.

Матеріали і методи. Матеріалами дослідження є: 1) сучасні технологічні рішення та нормативно-правові акти щодо водоочищення; 2) наукові праці вітчизняних та зарубіжних авторів, що досліджують питання проектування та функціонування водоочисних систем. Для аналізу було використано методи теоретичного узагальнення, формалізації, а також синтезу для побудови схеми функціонування модульних систем водоочищення в рамках екосистеми підприємства.

Результати. У статті розкрито послідовність проектування екосистеми модулів водоочищення, яка забезпечує ефективне функціонування підприємства в сучасних умовах. Представлено ключові складові системи водоочищення та їхня роль у загальній структурі витрат підприємства. Також запропоновано типологію витрат, пов'язаних із впровадженням модулів водоочищення, і визначено їхнє місце в системі управлінського та бухгалтерського обліку.

Перспективи. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на розробку методики аналізу витрат на експлуатацію модулів водоочищення, а також їхнє документальне оформлення у бухгалтерському обліку.

Ключові слова: електрохімічне оброблення води, електрохімічний процес, контактні пристрої, інтегративний комплексний модуль.

Summary. *Introduction.* The article explores conceptual approaches to building a system for accounting and analyzing costs associated with the design of modern water treatment module ecosystems. Contemporary environmental challenges require the implementation of innovative technologies that enhance water purification efficiency and promote sustainable development. The focus is on the development and improvement of module systems that ensure maximum water treatment process efficiency, cost minimization, and harmonious integration into the overall ecosystem of the enterprise.

Current environmental conditions and increasing water quality demands make the water treatment technology market one of the most critical sectors for the global economy. Globalization in this sphere and the development of a competitive environment compel businesses to seek new approaches to designing and implementing water treatment systems. This drives the need for innovative solutions that combine environmental safety, economic efficiency, and long-term operational sustainability.

Objective. The objective of this study is to reveal conceptual approaches to the design of modern water treatment module ecosystems, analyze their efficiency, and their implementation in enterprises. The study also addresses the systematization of costs associated with module implementation and their integration into the overall environmental management system.

Materials and Methods. The study materials include: 1) modern technological solutions and regulatory acts related to water treatment; 2) scientific works of domestic and foreign authors exploring the design and operation of water treatment systems. The analysis involved methods of theoretical generalization, formalization, and synthesis to build a functional scheme for modular water treatment systems within the enterprise ecosystem.

Results. The article reveals the sequence of designing the water treatment module ecosystem that ensures the effective operation of an enterprise under modern conditions. Key components of the water treatment system and their role in the overall cost structure of the enterprise are presented. A typology of costs associated with the implementation of water treatment modules is also proposed, and their place in the management and accounting systems is defined.

Prospects. Further research may focus on developing methodologies for analyzing the operational costs of water treatment modules, as well as their documentation in accounting.

Key words: electrochemical water treatment, electrochemical process, contact devices, integrative comprehensive module.

Опис особливостей технології електрохімічної обробки води для її подальшого використання у медичних установах, біологічних та мікробіологічних лабораторіях; варіанти використання цієї технології у процесах реставрації художніх творів та у побутових умовах.

Постановка проблеми. Сучасні виклики, пов'язані з водними ресурсами, стають все більш актуальними в умовах глобальних змін клімату, зростання населення та інтенсивної урбанізації. Вода, як життєво важливий ресурс, не лише підтримує біологічні процеси, але й відіграє ключову роль у соціально-економічному розвитку. Проте зменшення доступності чистої води, забруднення водних джерел та нерегульоване використання води створюють серйозні загрози для довкілля та здоров'я людей.

Нестача води в багатьох регіонах світу призводить до зростання конкуренції за ресурси, а також до соціальних і економічних конфліктів. Відповідно, питання раціонального використання води, її збереження та відновлення набувають особливого значення. Розробка та впровадження

інноваційних технологій, спрямованих на покращення управління водними ресурсами, стає необхідною умовою для забезпечення сталого розвитку.

Крім того, існуючі політики щодо водокористування часто не враховують потреби всіх зацікавлених сторін, що призводить до нерівного доступу до ресурсів. Тому виникає потреба в комплексному аналізі водного сектора, що включає вивчення економічних, соціальних та екологічних аспектів. Важливо визначити, які стратегії управління водними ресурсами є найефективнішими для забезпечення доступу до якісної води та її стійкого використання в майбутньому.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Значний внесок у розвиток наукових досліджень та концепцій біологічного розмаїття, а також охорони природних ресурсів на Закарпатті зроблено вітчизняними та міжнародними науковцями. Одним із ключових об'єктів досліджень є Карпатський біосферний заповідник, Філія Інституту екології Карпат НАН України.

Американські автори М.С. Akresh і К.Р. Nassan [1] акцентують увагу на сучасних методах моніторингу біорізноманіття в умовах змін клімату, а також їх впливі на екосистеми заповідників. Український науковець К.В. Безверхий [2] розглядає вплив антропогенних факторів на природні екосистеми Карпатського регіону. Дослідник Н. Гілберт [3] наводить сучасні методики використання дронів для моніторингу екосистем. Вітчизняний автор А.В. Долюк [4] вивчає особливості охорони флори та фауни в умовах кліматичних змін, акцентуючи увагу на важливості біорізноманіття.

Максименко І.Я. та Неч С.С. [5] вказують на необхідність розробки нових методів обліку та аналізу впливу змін навколишнього середовища на природні ресурси заповідників. Машевська А.А. [6] досліджує соціально-економічні аспекти організації роботи заповідників та їх вплив на місцеві громади. О.В. Мелень та О.А. Потоцька [7] детально досліджують принципи

організації захисту природних ресурсів і документування наукових досліджень.

Таким чином, наукові дослідження в Карпатському біосферному заповіднику активно розвиваються, забезпечуючи комплексний підхід до охорони навколишнього середовища та збереження біорізноманіття, що є особливо важливим у сучасних умовах кліматичних змін.

Метою статті є розкриття концептуальних підходів до проектування та впровадження екосистеми сучасних модулів водоочищення з метою розробки типології таких модулів та їх ідентифікації у складі об'єктів технічного та екологічного обліку з позиції форм застосування та взаємодій у процесі діяльності підприємства, що дозволяє диференціювати обліково-аналітичні процедури на рівні суб'єкта господарювання.

Матеріали і методи. Матеріалами дослідження є: 1) сучасні технології та нормативно-правові акти щодо електрохімічного оброблення води; 2) праці вітчизняних та зарубіжних авторів, які здійснюють науково-практичні дослідження у галузі водоочищення та екологічної безпеки, зокрема щодо використання електрохімічних процесів у водоочищенні.

У процесі дослідження було використано такі наукові методи: теоретичного узагальнення та групування (для характеристики складових процесу електрохімічного оброблення води та функцій модулів водоочищення як об'єктів технічного аналізу, а також визначення параметрів обробленої води для цілей аналізу та контролю); моделювання, аналізу та синтезу (для побудови схеми функціонування інтегративного комплексного модуля водоочищення у системі підприємства); логічного узагальнення результатів (формулювання висновків).

Виклад основного матеріалу. Метою впровадження інтегративного комплексного модуля водоочищення є забезпечення ефективного та

екологічно безпечного процесу обробки води для її подальшого використання у медичних установах, біологічних та мікробіологічних лабораторіях, а також у процесах реставрації художніх творів та в побутових умовах.

1. Коротке уявлення про технологію

1.1. Пропонований варіант технології є електрохімічним процесом впливу на воду або водний розчин, що проходить через обсяг електродів, підключених до джерела постійного струму і розділених нейтральною мембраною.

1.2. Контакти, що підводять електричний потенціал до обсягу електродів, виготовлені з неметалічних хімічно стійких матеріалів і є проникними по всьому об'єму для води і водних розчинів.

1.3. Електроди по всьому об'єму також проникні для води і водних розчинів, виготовлені з неметалічних хімічно стійких матеріалів, які за своїм хімічним складом сумісні з матеріалом електричних контактів.

1.4. Процес обробки води або водного розчину відбувається під час його проходження через об'єм електродів, причому рідина рухається через об'єм електродів під впливом сил гравітації в спрямованому висхідному потоці.

1.5. Електроди розташовані вертикально: вхід рідини у внутрішній обсяг електродів здійснюється у нижній частині, а вихід рідини – у верхній частині.

1.6. Час, протягом якого рідина знаходиться у внутрішньому об'ємі електродів, є часом впливу, і тривалість такого впливу визначає рівень та глибину впливу на робочі характеристики та параметри обробленої води або водного розчину.

1.7. Пристрій для запропонованого виду обробки води та водних розчинів являє собою електродну комірку з пристроями введення та виведення рідини, підключену до джерела електричного потенціалу.

1.8. Оскільки йдеться про локальний варіант використання технології, передбачувані розміри та продуктивність установки невеликі; основним відмінним параметром розмірного ряду таких установок є їхня продуктивність, яка змінюється в межах від 50 до 250 літрів на годину.

1.9. Установки є універсальними, та їх продуктом можуть бути такі види спеціально обробленої води:

- вода із підвищеним рівнем кислотності;
- вода зі зниженим рівнем кислотності;
- лужна вода для використання в різних медичних технологіях та устаткуванні;
- кисла вода для використання в різних медичних технологіях та устаткуванні;
- вода, очищена від бактерій та мікроорганізмів.

1.10. Установки також можуть використовуватися для електрохімічної дезінфекції водних стоків лабораторій та операційних комплексів у шпиталях та дослідницьких центрах.

2. Параметри та властивості води та водних розчинів, оброблених за пропонуваним методом

2.1. Параметри води з підвищеним рівнем кислотності визначаються переважно рівнем рН; для вихідної водопровідної води з рН=7 після обробки можна отримати воду з рН=3 на приблизно половині вихідного об'єму.

2.2. Параметри води зі зниженим рівнем кислотності також визначаються за рівнем рН; при поділі вихідної води з нейтральним рН=7

можна отримати після обробки воду з $\text{pH}=10$ приблизно половині вихідного обсягу.

2.3. У воді з підвищеним рівнем кислотності, як правило, при поєднанні двох видів впливу – електрохімічному за рахунок високої щільності струму та електрохімічному підвищенні рівня кислотності – знищуються 100% усіх бактерій та мікроорганізмів.

2.4. Рівень кислотності можна регулювати до необхідних значень шляхом зміни режимів електричного струму та зміни витрат та продуктивності пристрою.

2.5. Параметри за пунктами 2.1–2.4 виникають у пристрою з симетричними електродами та двома входами та виходами з електродного осередку.

2.6. Передбачається також варіант виконання пристрою з асиметричними електродами, в якому, у разі збільшеного об'єму анода (електроду з позитивним електричним потенціалом), отримують підвищення кислотності, а у разі збільшеного об'єму катода (електроду з негативним електричним потенціалом) - зниження рівня кислотності у всьому обсязі обробки води чи водного розчину.

2.7. При використанні симетричних електродів при необхідності можлива рециркуляція одного з потоків для повторної обробки.

3. Приклади застосування води, обробленої за пропонованою технологією

3.1. Вода з високим рівнем кислотності застосовується для санітарної очистки приміщень у госпіталях та для санітарної антибактеріальної обробки тіла пацієнтів.

3.2. Вода, отримана після встановлення зворотного осмосу, оброблена з метою зниження рівня кислотності, може використовуватися в автоклавах для отримання пари без корозійних властивостей.

3.3. Вода з низьким рівнем кислотності може мати широкий спектр використання для опікових ран, полоскань і профілактики сонячних опіків.

3.4. Знезаражені водні стоки можуть бути скинуті у каналізацію.

3.5. Вода, що пройшла дезінфекцію, може бути використана для різних потреб.

4. Особливості пристрою

4.1. Корпус пристрою виконується з полімерних матеріалів, переважно з полівінілхлориду.

4.2. Вся конструкція трубопроводів виконується зі стандартних компонентів і може мати безліч варіантів на вимогу замовника.

4.3. Електроди виконуються з композитного матеріалу – вуглецевої вати.

4.4. Контактні пристрої виконуються із вуглецевої тканини, додатково насиченої вуглецем.

При необхідності система може комплектуватися сенсорами безконтактного контролю, що працюють за принципами резонансної електромагнітної спектроскопії.

Автор наголошує на ключовій ролі, яку відіграли книги та публікації відомого дизайнера, члена-кореспондента Української академії наук Антоніни Кужим у компонуванні та побудові конфігурації модулів та ліній для очищення та регенерації води без застосування хімічних реагентів, але з використанням принципів електромагнітної резонансної спектроскопії. параметрів води, що очищається і регенерується без безпосереднього

контакту в режимі реального часу. Це забезпечує максимальну продуктивність та високу якість за мінімальної витрати енергії на процес.

Крім того, завдяки розробленим Антоніною Кужим дизайнерським прийомам суттєво підвищилася продуктивність систем, що дозволило різко зменшити габарити модулів. Висока точність контролю також знизила можливість виникнення аварійних ситуацій.

Інтегративний комплексний модуль розрахований на доведення до рівня вимог стандартів ґрунтової води та аналогічних за якістю водних ресурсів. Продуктивність комплексного інтегративного модуля становить від 1500 до 3000 галонів на день.

У системі є низка послідовних блоків контролю та обробки води. Процес проходження через всі етапи обробки і контролю починається з колектора всієї води, що надійшла, в якому проводиться комплексний активний контроль всіх основних параметрів води, що базується на принципах електромагнітної резонансної спектроскопії.

Після цього вся вода надходить у ванну, основне завдання якої – первинна седиментація та поділ потоку води на воду із забрудненнями та осадом та на воду після процесу гравітаційної седиментації, яку за допомогою насоса подають у первинну колону для аерації та максимально можливого розчинення кисню у воді, що здійснюються при впливі аеродинамічного вихрового генератора піни, пов'язаного з компресором.

Після завершення першого процесу аерації та розчинення кисню у воді частина води з спіненим осадом видаляється, а частина направляється в електрохімічний реактор з мультифункціональним робочим циклом та електрохімічними осередками з вуглецевими електродами, проникними для води.

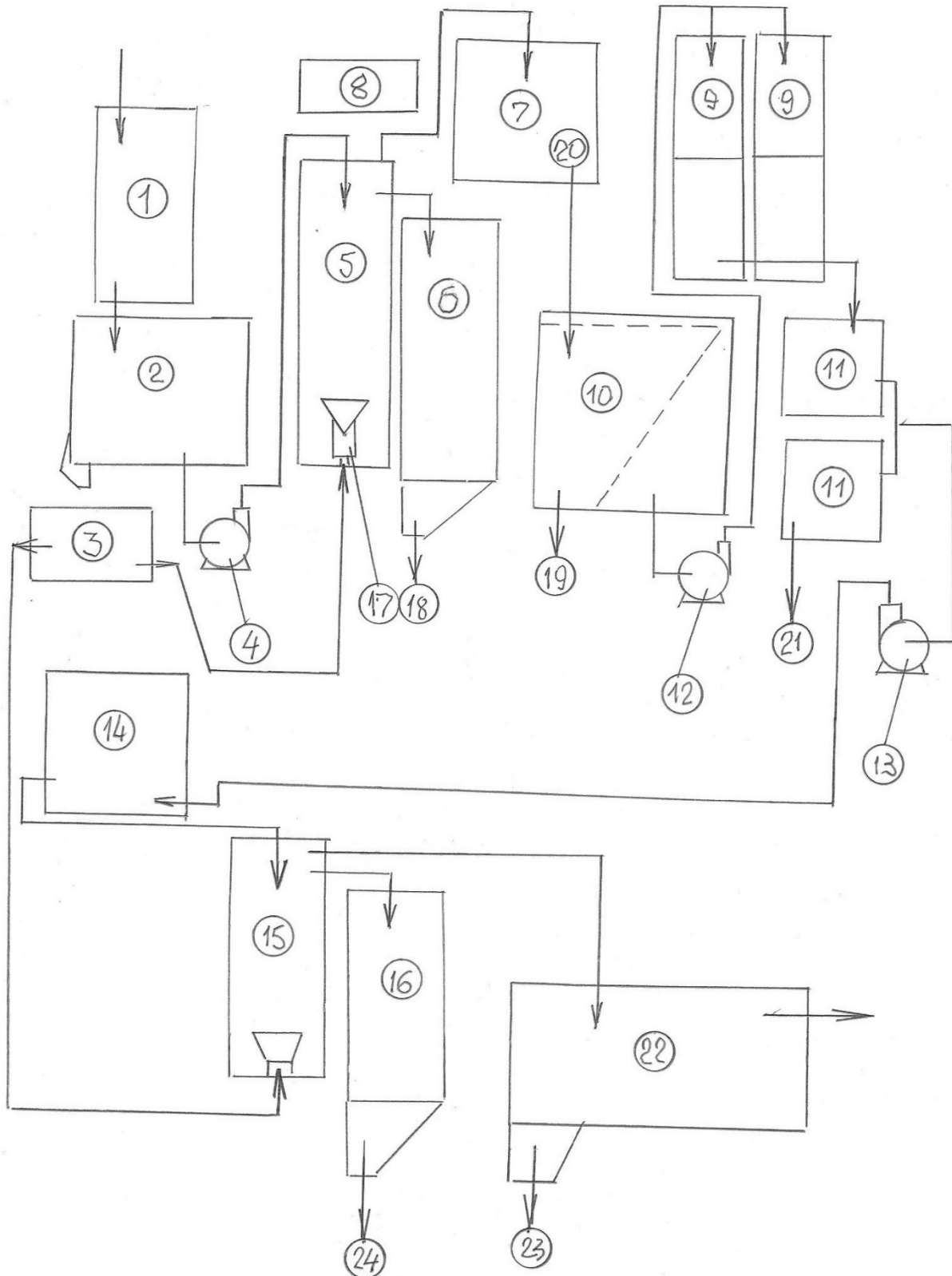


Рис. 1. Схема розміщення робочих модулів в комплексному інтегративному модулі очищення води на вході в систему водопостачання.

З електрохімічного реактора оброблена відповідно до встановленого робочого мультифункціонального циклу вода направляється у ванну седиментації, де поділяється на два потоки: один направляється на утилізацію після секції седиментації, другий очищений потік, що пройшов спільний мультифункціональний робочий цикл електрохімічних осередків електрохімічного реактора і контактної решіт направляється до колон іонної обмінної очистки.

Після обробки в колонах іонного обмінного очищення очищена вода направляється в автоматичні фільтри, що самоочищаються, звідки, після відділення осаду, направляється в другий електрохімічний реактор з мультифункціональним робочим циклом. Електрохімічний реактор переналагоджується на кілька операцій з електрохімічної обробки води без застосування хімічних реагентів. До таких операцій належать: коригування рівня кислотності, дезінфекція, коагуляція, флотація та антибактеріальна обробка.

Оброблена таким чином вода прямує до колон аерації і примусового розчинення кисню у воді до рівня повної сатурації. На виході з цих колон осад та інші спінені забруднення відокремлюються від основного потоку та утилізуються, а решта води через накопичувач прямує до користувачів.

На схемі позначено:

1. **Ємність** , в яку вода надходить із системи або колектора. У цій ємності є системи активного онлайн контролю вмісту забруднень у воді, засновані на принципах електромагнітної резонансної спектроскопії (винахід авторів проекту).

2. **Ванна первинної седиментації** з виходом на насос-4 та зливною магістраллю для осаду.

3. **Компресор**, пов'язаний з аеродинамічних генераторів піни в колонах для поділу фракцій осаду та інших забруднень.

4. **Відцентровий насос** з усією необхідною інфраструктурою.

5. **Колона для аерації та розчинення кисню** у воді, а також для підйому спінених забруднень та органіки у верхню частину колони.

6. **Колона для відокремлення** спіненого осаду та забруднень від маси води.

7. **Електрохімічний реактор із мультифункціональним робочим циклом**. Електрохімічний реактор переналагоджується на кілька операцій з електрохімічної обробки води без застосування хімічних реагентів. До таких операцій належать: коригування рівня кислотності, дезінфекція, коагуляція, флотація, антибактеріальна обробка.

8. **Система безконтактного контролю якості води**, керована спеціальним процесором, пов'язаним із встановленими на відповідних ділянках трубопроводів сенсорними модулями, що працюють за принципами резонансної електромагнітної спектроскопії.

9. **Колони іонної обмінної обробки** мають секційну структуру. Залежно від продуктивності у складі колони може бути одна, дві чи три секції. Така структура дозволяє в одній колоні мати три іонні обмінні матеріали, включаючи натуральний іонний обмінний матеріал – цеоліт.

10. **Ванна седиментації**, в яку входить злив з електрохімічного реактора і з якої вода, відокремлена від осаду, за допомогою насоса подається на вхід до колони іонної обмінної обробки (9).

11. **Автоматичні механічні фільтри, що самоочищаються**, які можуть бути замінені на мембранні автоматичні фільтри.

12. **Насос**, що подає очищену воду з ванни седиментації (10) на входи колони іонної обмінної обробки (9).

13. **Насос**, що подає очищену відфільтровану воду з фільтрів (11) до другого електрохімічного реактора з мультифункціональним циклом.

14. **Електрохімічний реактор із мультифункціональним робочим циклом**. Електрохімічний реактор переналагоджується на кілька операцій з електрохімічної обробки води без застосування хімічних реагентів. До таких операцій належать: коригування рівня кислотності, дезінфекція, коагуляція, флотація, антибактеріальна обробка.

15. **Колона для аерації та розчинення кисню** у воді та для підйому спінених забруднень та органіки у верхню частину колони. У нижній частині колони вмонтовано аеродинамічний вихровий генератор піни.

16. **Колона для відокремлення** спіненого осаду та забруднень від маси води.

17. **Інноваційний аеродинамічний вихровий генератор піни**, вхід до якого з'єднаний з виходом компресора.

18. **Вихід та злив** із колони (6), яка використовується як колона для відділення спіненого осаду та забруднень від маси води.

19. **Зливна магістраль** для зливу осаду із ванни седиментації (10).

20. **Магістраль зливу обробленої електрохімічному реакторі води** у ванну седиментації (10). Вода в електрохімічному реакторі може бути оброблена кількома операціями без застосування хімічних реагентів. До таких операцій належать: коригування рівня кислотності, дезінфекція, коагуляція, флотація, антибактеріальна обробка.

21. **Резервне зливання осаду** з автоматичних механічних фільтрів або їх еквівалентів – мембранних фільтрів.

22. **Фінальна ємність-накопичувач** обробленої води перед подачею для споживання.

23. Резервний злив накопичених у ємності-накопичувачі осаду та забруднень.

24. Злив із колони (16) для відділення спіненого осаду та забруднень від маси води.

У зазначеній конфігурації всі вхідні модулі є мультифункціональними і можуть бути відрегульовані на роботу з кількома типами вихідної води, що подається на вхід комплексний комплексний інтегративний модуль.

Для контролю та управління електрохімічними реакторами у складі інтегративного комплексного модуля до його структури входить система управління та контролю, пов'язана за функціональними схемами з безконтактними електромагнітними резонансними сенсорними модулями, що працюють за принципами резонансної електромагнітної спектроскопії.

Зазначена система може працювати у повністю автономному автоматичному циклі з повним контролем за результатами та якістю обробки води на всіх етапах.

Зазначена система має 100-відсотковий рівень гнучкості і в процесі роботи та налаштування може змінювати порядок та специфіку роботи в залежності від необхідності та технічних характеристик вхідних елементів та систем.

Всі зазначені вирашні моменти виникли саме завдяки комплексному впровадженню, розробленому Антоніною Кужим дизайнерських та компоновальних прийомів, і дозволяють за мінімальних витрат забезпечити максимальну відповідність екологічним стандартам за високих показників екосистеми та інфраструктури розумного водоочисного обладнання.

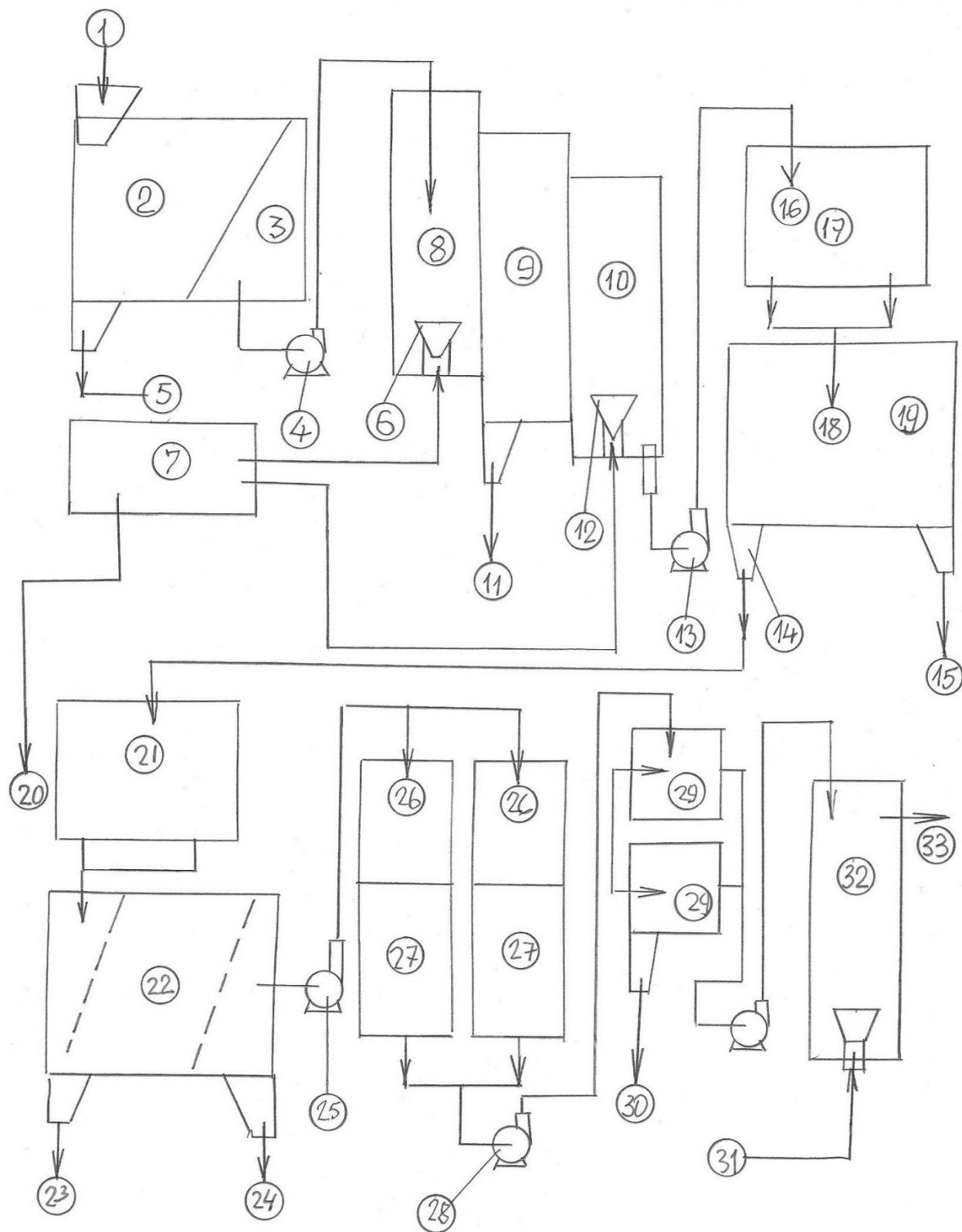


Рис. 2. Інтегративний комплексний модуль регенерації води з підготовкою до рециркуляції. Весь процес регенерації виконується без хімічних реагентів

В комплексний інтегративний мультифункціональний процес регенерації використаної на одному об'єкті води входять системи:

- Вхідна седиментація без додаткового впливу.
- Пінної обробки з поділом фракцій осаду та органічних забруднень.
- Сепарації спіненого комплексу забруднень із рідиною, вільної від забруднень.
- Повторної аерації сепарованої води з розчиненням кисню у воді рівня повної сатурації.
- Комплексна обробка води в електрохімічному реакторі за мультифункціональною схемою: коригування рівня кислотності, дезінфекція, насичення коагулянтами або флокулянтами, повернення потоків води до загального рівня кислотності.
- Седиментації у потоці скидання води з коагулянтами чи флокулянтами.
- Повторна мультифункціональна обробка потоку води з ванни седиментації з коагулянтом або флокулянтом за наступною фінальною схемою: коригування рівня кислотності, дезінфекція, повернення всього обробленого потоку води до загального рівня кислотності.
- Фінішна седиментація усієї води, обробленої у другому електрохімічному реакторі.
- Обробка в колонах іонної обмінної обробки, включаючи секції з натуральним гранульованим цеолітом замість іонної синтетичної обмінної смоли.
- Обробка в автоматизованих механічних фільтрах або мембранних фільтрах.

- Фінальна аерація за допомогою аеродинамічної вихрової генерації піни з розчиненням кисню рівня повної сатурації.

На діаграмі показано:

1. **Вхідна ванна седиментації** осаду, що сформувався, з функціями видалення осаду і напрямком води без осаду на наступну стадію обробки.

2. **Секція седиментації** у ванні 1.

3. **Секція концентрації** води без осаду у ванні 1.

4. **Насос** для перекачування води без осаду наступні стадії обробки.

5. **Система видалення** води із осадом.

6. **Аеродинамічний вихровий генератор піни.**

7. **Компресор** , що працює з трьома аеродинамічними вихровими генераторами піни.

8. **Колона** для вихрового спінювання води без осаду.

9. **Колона** , яку скидається піна з верхньої частини колони 8, призначеної для вихрового аеродинамічного спінювання води без осаду.

10. **Колона** для вихрового спінювання та формування необхідного рівня аерації та насичення оброблюваної води розчиненим киснем до рівня повної сатурації.

11. **Злив забруднень** з колони 9, яку скидається піна з верхньої частини колони 8.

12. **Проміжний аеродинамічний вихровий генератор піни.**

13. **Насос** для подачі на електрохімічні осередки першого по ходу руху рідини електрохімічного реактора води після її обробки в колоні 10 з максимальним вмістом повітря та розчиненого кисню рівня повної сатурації.

14. **Магістраль зливу очищеної води** після седиментації та комплексної обробки у першому електрохімічному реакторі.

15. **Злив забруднень** із ванни седиментації, встановленої після електрохімічного реактора.

16. **Введення води** в електрохімічні осередки електрохімічного реактора після аерації та розчинення кисню рівня повної сатурації.

17. **Корпус електрохімічного реактора**

18. **Злив води** з міжелектродного простору осередків електрохімічного реактора після повного циклу обробки.

19. **Комплексна ванна седиментація.**

20. **Вихід** із компресора 7 на вхід у фінішну систему аеродинамічного вихрового генератора піни.

21. **Мультифункціональний електрохімічний реактор** для комплексної фінішної обробки води за мультифункціональною схемою: коригування рівня кислотності, дезінфекція, повернення всього обробленого потоку води до загального рівня кислотності.

22. **Комплексна ванна седиментація.**

23. **Злив рідини** із забрудненнями.

24. **Резервний злив** води із секції ванни седиментації для очищеної води.

25. **Насос** для подачі води з фінальної секції седиментації ванни на сегменти іонних обмінних колон.

26. **Верхні секції іонних обмінних колон**, в яких як іонний обмінний матеріал застосований гранульований цеоліт.

27. **Нижні секції колон** іонної обмінної обробки, в яких розміщена іонна обмінна смола.

28. **Насос** для прокачування води після очищення в колонах іонного обмінного очищення в автоматизовані механічні фільтри або мембранні фільтри.

29. Система автоматизованих механічних фільтрів, що самоочищаються, з насосом для подачі води після фільтрації в колону фінальної аерації і розчинення кисню до рівня повної сатурації.

30. Злив осаду з автоматизованих фільтрів, що самоочищаються.

31. Фінальний аеродинамічний вихровий генератор піни.

32. Колона для фінального етапу аерації та розчинення кисню у воді рівня повної сатурації.

33. Лінія подачі регенованої води на рециркуляцію.

Література

1. United States Patent 8,715,378. May 6, 2014. Fluid composite, device for production thereof and system of use.

2. United States Patent 8,746,965. June 10, 2014. Method of dynamic mixing of fluids.

3. United States Patent 8,871,090. October 28, 2014. Foaming of liquids.

4. United States Patent 9,144,774. September 29, 2015. Fluid mixer with internal vortex.

5. United States Patent 9,310,076. April 12, 2016. Emulsion, apparatus, system and method for dynamic preparation.

6. United States Patent 9,399,200. July 26, 2016. Foaming of liquids.

7. Кудрявцева Н. В. Гідрохімічні особливості води в ріках України. *Вісник екології*. 2017. № 5. С. 55-60.

8. Левченко В. В. Водні ресурси України: проблеми і перспективи використання. *Наукові записки Національного університету "Острозька академія"*. 2019. № 2. С. 12-17.

9. Костюк В. Ф. Екологічні аспекти водозабезпечення в Україні. *Журнал екологічного менеджменту*. 2018. № 3. С. 45-52.

10. Smith J. R., Taylor L. A. Water quality and public health: the role of urban water management in reducing disease. *Journal of Environmental Management*. 2020. Vol. 259, Article 110046.

11. Brown T. C. Water resources and climate change: an integrated assessment. *Water Policy*. 2018. Vol. 20(2). P. 213-229.

12. Мельничук О. О. Вода: властивості та використання в промисловості. *Технічний вісник*. 2020. № 1. С. 78-84.

13. Pahl-Wostl C. Water governance in the face of global change: from understanding to transformation. Springer, 2019.

14. Хоменко І. І., Ткаченко П. І. Вода як ресурс: основні виклики та загрози. *Екологічний вісник*. 2019. № 2. С. 25-31.

15. Gleick P. H. Water in crisis: a guide to the world's fresh water resources. Oxford University Press, 1993.