

Т. В. Солодовнік, к.х.н., доцент,
e-mail: t.solodovnik@chdtu.edu.ua

Г. С. Столяренко, д.т.н., професор,
e-mail: radikal@ukr.net

Черкаський державний технологічний університет,
б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна

ВИРІШЕННЯ АКТУАЛЬНИХ ПИТАНЬ ВОДОПІДГОТОВКИ ТА ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД НАУКОВЦЯМИ МІЖНАРОДНОГО РІВНЯ В РАМКАХ ПРОЕКТУ «ВОДНА ГАРМОНІЯ»

В роботі проведено аналіз основних статей, наукових збірників, матеріалів монографій, дослідницьких робіт, в яких в повній мірі відображаються напрямки наукової роботи дослідників з університетів-партнерів, що працюють в рамках проекту «Водна Гармонія». Показані загальні підходи до регулювання водопостачання та водовідведення, які направлені на виконання вимог до стічних вод, частоти їх контролю, а також вимог до систем збирання стоків і очисних споруд. Висвітлені основні напрямки розробки технологічних схем очистки стічних вод з використанням ефективного сучасного обладнання. Подано характеристику і напрямки вдосконалення систем очищення на підприємствах важкої, легкої та хімічної промисловостей, які містять різноманітні за складом стічні води зі специфічними домішками. Наведені рекомендації щодо дослідження, класифікації та очищення побутових стічних вод. Відмічено, що значну увагу науковці проекту приділяють фізико-хімічним методам очищення стічних вод, які використовуються як самостійно, так і в поєднанні з механічними, хімічними та біологічними методами. Розглянуті шляхи знешкодження та переробки осадів (шламів), що утворюються в процесах водоочищення.

Ключові слова: водоочищення, питна вода, стічні води, фільтрація, коагуляція, сорбція, шлам.

Вода – це унікальний та безцінний дар природи, який забезпечує існування всього живого на планеті Земля. Переоцінити значення води для існування живих організмів практично неможливо. Аналізуючи важливість води для усіх живих організмів, приходять на думку вислів Антуана де Сент-Екзюпері, який він присвятив саме воді: «Не можна сказати, що ти необхідна для життя: ти – саме життя ... Ти найбільше багатство у світі!». Людині необхідно постійно підтримувати і оновлювати запаси води в організмі, споживаючи на добу не менше 2-3 літрів якісної питної води. Завдяки швидкому зростанню населення планети, зростає і споживання води, що призводить до виникнення проблеми забезпечення водою людства. Наявність якісної питної води – одна з глобальних проблем сучасної цивілізації і пов'язана вона з тим, що запаси прісної води дуже обмежені. Аналізуючи ситуацію з прісною водою у світі, Рада ООН з прав людини ухвалила резолюцію, яка визначає основним правом людини – право на воду і санітарію. Основна маса прісної води

повертається в кругообіг, однак повертається вона забрудненою і потребує якісного та вартісного очищення. Комплексний підхід до проблем економії води, охорони водойм від шкідливих забруднень, ретельної очистки побутових та стічних вод дозволить зменшити антропогенне забруднення водних ресурсів, і буде сприяти вихованню в кожній людині культури поводження з водою.

Науковці та фахівці з 10 університетів різних країн, а саме: Норвегії, Німеччини, Польщі, України, Китаю та Шрі-Ланки об'єднали свої зусилля в рамках європейського проекту «Водна Гармонія», «Water Harmony» Erasmus+ «Розвиток ступеневої освіти за напрямом очищення води» ("Harmonising water related graduate education") та проводять спільні теоретичні та практичні дослідження, які направлені на покращення якості освіти студентів профільних спеціальностей та на удосконалення існуючих і розробку нових сучасних напрямків з питань водоочищення та водопідготовки.

Отримані результати відображаються в підручниках [1], монографіях та наукових статтях.

У даній роботі, в анотаційній формі, представлено огляд основних статей, наукових збірників, матеріалів монографій, дослідницьких робіт, що в повній мірі відображають напрямки наукової роботи дослідників з університетів-партнерів різних країн, які направлені на забезпечення потреб людства в питній воді високої якості.

Законодавство у водо підготовці. У всіх країнах, які представлені в проекті «Водна гармонія» загальні підходи до регулювання водопостачання та водовідведення направлені на виконання вимог до стічних вод, частоти їх контролю, а також вимог до систем збирання стоків і очисних споруд. Науковці університетів-партнерів активно долучаються до розробки основних регламентів, нормативної та технічної документації підприємств з метою раціональної організації процесів водоочищення і водопідготовки. Авторами [2], описана структура водопостачання в Німеччині і наведена характеристика водних ресурсів, які використовуються. Надається огляд по юридичним вимогам до питної води і описані джерела забруднюючих речовин. Обговорюється різноманітність захисту щодо ресурсів підземних вод і джерельної води, озер, водосховищ і річкової води. Наведено приклади схем очищення і принцип транспортування річкової води в якості першого кроку обробки.

В іншій роботі [3] наводяться результати статистичного дослідження побутових стічних вод. Було оброблено більше ніж 130 посилок, оцінка яких проводилася з акцентом на європейські стандарти. Різні значення були проаналізовані з використанням статистичних параметрів. Зібрані дані включають обсяги і характеристики органічних забруднень (ХПК і БПК), окремих елементів (N, P, K і S) і важких металів для різних джерел та розділених потоків стічних побутових вод. Порівняння проводилось між даними з різних регіонів з метою оцінки впливу відмінностей в харчуванні і звичках. Встановлено, що знання концентрацій або навантажень в потоках стічних вод є однією з основних умов для проектування установок з очищення стічних вод і оцінці впливу на навколишнє середовище.

Обладнання водоочисних споруд. При розробці технологічних схем очистки стічних вод найважливішим питанням є вибір техно-

логії очистки та ефективного сучасного обладнання. Науковці проекту приділяють особливу увагу розробці нових та вдосконаленню вже існуючих типів обладнання для процесів водоочищення. В роботі [4] було досліджено застосування цеолітів як іонообмінників для вирівнювання пікових навантажень аміаку в газових біологічно активованих фільтрах. Встановлено, що надлишок цеоліту може зрівняти варіації аміаку, особливо в блоках фільтрів, які працюють з високою швидкістю нітрифікації і які дуже чутливі до різних умов. І тому, модернізація нітрифікуючих фільтрів цеолітом є додатковою безпекою для стічних вод, що містять коливальні концентрації аміаку.

Комбінація фізичних та біологічних процесів очищення дозволяє досить ефективно проводити очисні дії для стічних вод специфічних виробництв. Автори [5] представили пілотну установку, яка об'єднує флотацію розчиненим повітрям, анаеробну деградацію в розширеному шарі гранульованого осаду і аеробну доочистку в вертикальному потоці, яка використовувалась для очистки стічних вод виробництва крохмалю з тапіоки впродовж 2,25 років. Показано, що органічні речовини, азот і ціанід можуть бути видалені дуже ефективно при стабільних умовах експлуатації. Ефективність видалення фосфору нижча і складає приблизно 50%. Дана технологія включає в себе кілька позитивних аспектів, наприклад, низькі вимоги по експлуатації та мінімальне використання хімічних речовин і це може бути цікаве для малих і середніх переробних заводів тапіоки.

Промислові та побутові стічні води.

На сьогоднішній день стічні води промислових підприємств є одними з найбільш небезпечних джерел забруднення поверхневих водойм та ґрунтових вод. Стічні води, які утворюються на підприємствах важкої, легкої та хімічної промисловості є різноманітними за складом і містять специфічні домішки, склад і кількість яких залежить від технології та потужності процесу конкретного виробництва. Науковці проекту залучаються до дослідження та вирішення проблем очистки стічних вод як в цілому, так і для конкретних специфічних виробництв. Так наприклад, актуальним питанням є очищення стічних вод красильних виробництв, які містять велику кількість не тільки розчинних барвників, а і цілий комплекс неорганічних забруднювачів.

Авторами [6] вивчалися особливості процесів вилучення барвників, а саме бром фенолового синього при використанні технології флотоекстракції. Були досліджені характеристики взаємодії барвника з хлоридом цетилпіридинію, який є катіонною поверхнево-активною речовиною. На основі термодинамічних розрахунків було встановлено, формування комплексу між йонами барвника та ПАР відбувається самочинно і не потребує накладання зовнішніх сил.

В іншій роботі [7] вивчався процес вилучення зі стічних промислових вод активного яскраво-помаранчевого барвника КХ. За допомогою квантово-хімічних розрахунків було доведено доцільність використання для цього процесу реактиву Фентона. На основі, проведених експериментальних досліджень запропоновано механізм окиснення барвника активного яскраво-помаранчевого КХ системою фото-Фентон.

В красильних виробництвах найчастіше використовуються розчинні барвники, видалення яких зі стічних вод є найбільш актуальним питанням. В роботі [8] вивчалась сорбція розчинних барвників, таких як прямого блакитного, кислотного червоного, яскраво-блакитного на хітинвімісних комплексах, що були отримані з відходів біотехнологічного виробництва лимонної кислоти. Автором була проведена кількісна оцінка величини сорбції та надані рекомендації щодо застосування комплексів для очистки водних розчинів в широких межах рН.

Для видалення різного типу барвників із стічних вод розробляються не тільки нові методи, а і синтезуються нові типи сорбентів, флокулянтів, коагулянтів. У статті [9] розглядається реальний і економічно вигідний метод низькотемпературного синтезу TiO_2 , що дозволяє певним чином впливати на структурно-сорбційні характеристики та фотокаталітичну активність зразків не за рахунок зміни температури кінцевої обробки, а скоріше шляхом варіювання добавки осаджувача і модифікатора. Цей метод дає можливість отримати нанодисперсний TiO_2 з розвиненою питомою площею поверхні і високою фотокаталітичною активністю щодо барвників аніонного і катіонного типу. Доведено, що отримані відповідно даного методу зразки TiO_2 виявляють вищу активність в порівнянні з комерційними продуктами.

Авторами [10] досліджувався новий сорбент на основі сапоніту і магнетиту (від 3 до

10 мас.%). В ході експерименту вивчалися адсорбційні властивості по відношенню до барвників та встановлено, що сорбенти мають високу сорбційну здатність (максимальна сорбційна ємність для малахітового зеленого досягає 324,50 мг/г), яка значно вища, ніж при їх окремому використанні: сапоніт (105,71 мг/г) і магнетит (36,71 мг/г). Розраховані параметри рівняння ізотерми адсорбції Ленгмюра показують, що сорбент виявляє селективність по відношенню до барвників катіонного типу. Було встановлено, що сорбція барвників на магнетитонаповнених сорбентах протікала з більш високою швидкістю в порівнянні з сапонітом. При видаленні використаних сорбентів з води за допомогою магнітної сепарації, було встановлено, що ефективне видалення магнітонаповнених сорбентів з водного середовища, можливе з насадками у вигляді нікельованих сталевих сіток. Показано, що використання магнітонаповнених сорбентів дозволяє очищати робочі середовища від барвників з високою ефективністю, яка складає близько 90-96%.

Науковці країн-партнерів приділяють особливу увагу дослідженню побутових стічних вод та методам їх очищення. Побутові стічні води утворюються внаслідок діяльності населення і потенційно мають шкідливий вплив на навколишнє середовище при скиданні без належної очистки. Туалетна стічна вода або «чорна вода» містить сечу, фекалії, туалетний папір і промивну воду. Авторами [11] пропонується очищення «чорної води» за допомогою хімічних методів. Основною метою даного дослідження було визначення можливостей та придатності традиційних коагулянтів і полімерних флокулянтів для видалення твердих часток, органічних речовин і фосфору. Випробувались коагулянти на основі алюмінію та заліза, органічні поліелектроліти, а також різні їх комбінації з використанням лабораторних методів. Найбільш важливим параметром під час коагуляції є рН, який залежить від типу і доз солей металу. Експериментальні випробування показали, що катіонні полімери з низькою молекулярною масою і високим зарядом є найбільш ефективними в комбінації з алюмінієвими коагулянтами.

Методи очищення стічних вод. В процесах очистки стічних вод широко застосовуються фізико-хімічні методи, які використовуються як самостійно, так і в поєднанні з механічними, хімічними та біологічними. До

найбільш розповсюджених методів очищення відносяться: окислювальні та мембранні процеси, флоатація, коагуляція, іонний обмін, адсорбція, екстракція, ректифікація, випарювання, дистиляція, гіперфільтрація (зворотний осмос) та ультрафільтрація, кристалізація, а також методи, пов'язані з накладанням електричного поля – електрокоагуляція, електрофлоатація, електроліз та ін.

Дослідницька група з питань водних ресурсів, екології, санітарії та охорони здоров'я (WESH - Water, Environment, Sanitation and Health), яка працює на кафедрі математичних наук і технологій (ИМТ) Норвезького університету природничих наук (NMBU) під керівництвом професора Харша Ратнавира фокусує свою увагу на дослідженні проблем, пов'язаних зі стічними та питними водами і бере активну участь у навчанні та підготовці магістрів та аспірантів в області технології води. Більшість робіт цієї творчої групи присвячена використанню флоатації та коагуляції в процесі очистки води. За їх думкою формування і ріст флокульованого осаду є дуже важливими характеристиками при коагуляції. [12]. Форма і розмір флокул сильно впливають на ефективність очищення після коагуляції і основними параметрами флокул є доза та час коагуляції. У даній статті було розглянуто три методи розпізнавання структури, які оцінювали на здатність математично описати взаємозв'язок між зображенням флокул і дозами коагулянтів. Результати структурного аналізу зображень в поєднанні з багатовимірними методами моделювання показали, що можна охарактеризувати і зв'язати зображення флокул, отриманих під час коагуляції, з різними дозами коагулянтів, а також прогнозувати дозування.

Авторами [13] показано, що коагуляція є важливим процесом для видалення зважених і колоїдний часток з питної і стічних вод. Проте, поки ще не розроблено загальноприйнятого математичного опису даного процесу. Встановлено, що оптимізація процесу і контроль, як правило, засновані на даних з тестувань підбору складу коагулянту і оптимального рН і з концепції простого пропорційного дозування потоків, в той час як починають з'являтися більш точні параметри якості води, які можна виміряти онлайн. Крім того, були спроби розробити датчики програмного забезпечення та схем управління, що включа-

ють сучасні математичні аналізи цих параметрів. У статті представлено огляд параметрів і фізичних характеристик датчиків. Практичне застосування різних методів контролю наведені для того, щоб проілюструвати сучасний стан контролю процесу коагуляції.

У роботі інших авторів [14] обговорюються результати лабораторних досліджень коагуляції і флокуляції модельних розчинів стічних вод. Досліджувані стічні води піддаються очистці за допомогою хімічної коагуляції. В статті наведені результати порівняння ефективності двох типів коагулянтів: поліоксихлориду алюмінію PAC (виробництва DEMPOL-ECO) і коагулянту на основі заліза PIX (виробництва KEMIPOL). Розроблено математичну модель, спираючись на поліном другого ступеня, який був використаний для опису і аналізу експериментальних даних. У кожному випадку параболічною точкою мінімуму була точно визначена доза коагулянту, яка вважається оптимальною. Застосування коагулянту вищої дози за оптимальну знижує ефективність очищення стічних вод шляхом коагуляції. Аналіз каламутності, зважених речовин, загального фосфору і забрудненості, виміряної за допомогою тесту ХПК показали, що PAC був більш ефективним, ніж коагулянт PIX. Ризик передозування коагулянту був більший з використанням PAC, ніж PIX.

Німецькими партнерами в роботі [15], проведено порівняльний аналіз лужних і кислотних алюмінієвих коагулянтів (ALTON, квасци алюмінію і PAX 18) з використанням модельних водних розчинів і розчинів гумусових речовин. Лужний коагулянт був настільки ж ефективним, як і квасци щодо каламутності і видалення гумусу, але менш ефективний ніж PAX 18 при видаленні мутності. Що стосується осадження фосфору, квасци показали кращі результати, потрібна більша доза ALTON, щоб отримати такі ж результати, а PAX 18 був найменш ефективним. Авторами запропонований спрощений підхід для прогнозування кінцевого значення рН в обробленій воді. Теоретичні значення рН досить добре узгоджені з експериментальними даними в усіх досліджених системах. Додавання лужного коагулянту на стадії активації мулу для очистки стічних вод збільшили максимальну швидкість його нітрифікації.

Для сьогодення актуально вивчення властивостей нових коагулянтів на основі

чотирьохвалентних іонів цирконію та титану, які є ще недостатньо дослідженими та мало-конкурентноспроможними. Авторами [16] вивчалися процеси коагуляції і гелеутворення золів в водному розчині хлороксиду цирконію і властивості гідратованих золів діоксиду цирконію в залежності від рН, розміру частинок, динамічної в'язкості. Визначено граничні значення концентрації і температури гідратованих золів діоксиду цирконію, а також були знайдені константа коагуляції, енергія активації гелеутворення і значення теплового ефекту.

В статті [17] порівнювалась ефективність функціонування різних фільтруючих систем по відношенню до забруднень, що сорбуються та біоокислюються. Теоретично і експериментально показано, що біоконверсія забруднень води на гравітаційних фільтруючих завантаженнях є ефективним способом очищення води. Біоконверсійна стадія очищення води реалізована в режимі циркуляційної фільтрації на комбінованому піщано-вугільному завантаженні з подальшим видаленням продуктів розпаду бульбашково-плівковою екстракцією. Шляхом співставлення результатів аналізів, показана перспективність використання комбінованої (фільтраційно-флотаційної) системи очищення (доочищення) води.

В пошуках ефективних методів очищення стічних вод науковцями проекту проводяться дослідження направлені на застосування процесів електрокоагуляції, електрофлукуляції і електродіалізу для очищення водних розчинів від різного типу розчинних і диспергованих домішок. Електрохімічні методи дозволяють очищати стічні води від забруднювачів при використанні відносно простої технологічної схеми очищення не використовуючи хімічних реагентів. В роботі [18] представлені результати процесу електрокоагуляції для змодельованого в лабораторних умовах зразка стічних вод з використанням залізних електродів. Досліджуваний зразок води був підготовлений до електричної обробки, а змодельована система підтримувала продуктивність аналізу в семи повторних дослідках, створюючи базу даних для достовірної статистичної та математичної обробки. Електрокоагуляція стічної води проводилась за допомогою хронопотенціометричної установки в статичних умовах при постійній силі струму $I = 0,3$ А. Результатом досліджень було визначення таких показників як рН, ка-

ламутність, хімічне споживання кисню, концентрація зважених твердих частинок та сумарна концентрація фосфору в очищених стічних водах після електрокоагуляції. Було запропоновано новий метод визначення оптимальної дози залізного електрокоагулянту. Запропонований метод теоретично обґрунтовано і продемонстровано практично, а також доведено, що він надає можливість точно визначити дозу електрокоагулянту. Використання алюмінієвих електродів [19], дозволяє збільшити ефективність видалення сполук фосфору з модельних розчинів стічних вод за рахунок збільшення дози електрокоагулянту. Також в даній роботі запропоновано новий метод визначення оптимальної дози алюмінію шляхом застосування функції поліному третього ступеня.

Актуальним питанням в процесах очистки стічних вод є видалення органічних речовин. У статті [20] авторами запропоновано механізм видалення природних органічних речовин шляхом ультрафільтрації з дозуванням коагулянту в потоці. У статті визначено оптимальні умови ведення процесу, а саме: тип і доза коагулянту, діапазон температур і рН, тривалість контакту.

Для очистки води від токсичних домішок в процесі водопідготовки ефективно застосовують різноманітні окисники, серед яких важливе місце займає озono-повітряна суміш. Авторами в роботах [21, 22, 23] розглянуто механізми хімічного розкладання озону у водних розчинах з отриманням ефективних окислювачів, тобто кисневмісних радикалів. Були визначені залежності поточних концентрацій окислювачів від вихідної концентрації озону, температури та рН вихідних модельних розчинів стічних вод. Запропоновано [24] в якості ефективного окислювача органічних сполук використовувати розчин, що містить розчинник, озон, воду і активні реагенти. Встановлено, що вихідна концентрація окислювача є основним показником для отримання необхідної концентрації радикалів. Вивчено і запропоновано кілька методів хемодеструкції озону у водних розчинах органічних сполук. Також в роботі [25] представлені результати розробки ефективної технології застосування цілого ряду окислювачів для очистки стічних вод промислових підприємств.

Ефективним методом очищення стічних вод є сорбційний метод, який зазвичай використовується для очищення стоків забрудне-

них ароматичними сполуками, барвниками, аліфатичними сполуками, неелектролітами або слабкими електролітами. Розробка ефективних та екологічно безпечних сорбентів завжди є актуальним питанням. Науковці та дослідники проекту «Водна гармонія» в своїх працях приділяють значну увагу дослідженню сучасних тенденцій розвитку сорбційних процесів в питаннях водоочищення. Авторами [26] було досліджено видалення природних органічних речовин (ПОР) чотирма різними гранульованими сорбентами: активованим вугіллям, аніонообмінною смолою, активованим оксидом алюмінію і гранульованим гідроксидом заліза. Визначено кінетичні параметри та проведений адсорбційний аналіз, який був застосований для опису сорбційних рівноваг. Експериментальні дослідження проводились на модельній установці в умовах поверхневої дифузії для дослідження поглинання ПОР в колонках з нерухомим шаром каталізатора. Отримані результати показали, що адсорбція ПОР активованим вугіллям і активованим оксидом алюмінію може бути змодельована досить успішно методом, який використовується, а поглинання ПОР аніонообмінною смолою, може бути передбачене за ємністю, в той час як двох кінетичних параметрів явно недостатньо, щоб правильно описати швидкість поглинання. Адсорбція ПОР гранульованим гідроксидом заліза виявилась дуже повільною, яка не може бути передбаченою з використанням параметрів, отриманих з даних експерименту.

В роботі [27] наводяться результати синтезу магнітних композитних сорбентів на основі сапонітових глин з різним вмістом магнетиту (2-7 мас.%). Зразки аналізували за допомогою методів дифракції рентгенівських променів. Було встановлено, що магнітні нанокompозити мають більш розвинену поверхню мікропор і мезопор в порівнянні з сапонітовою глиною. Були визначені сорбційні властивості магнітних нанокompозитних сорбентів та встановлено, що їх ефективність значно вища, ніж окремі фази композиційного матеріалу. Також було показано, що всі відпрацьовані композитні магнітні сорбенти успішно видалені з водного середовища за допомогою магнітної сепарації.

Перспективним напрямком в галузі водопідготовки є використання сорбентів для вилучення важких металів з водних розчинів.

Авторами [28] вивчались закономірності адсорбції катіонів важких металів з водних розчинів за допомогою нанокompозитного сорбційного матеріалу на основі активованого вугілля і нанодисперсного оксиду цирконію (IV). При отриманні нанокompозиту використовувався метод хімічного осадження з гомогенної фази при використанні сечовини в якості осаджувача. За ізотермами сорбції нанокompозитним матеріалом різних катіонів важких металів були визначені кінетичні параметри. Потенціометричним методом титрування та інфрачервоною спектроскопією визначався механізм взаємодії сорбційного матеріалу нанокompозиту з катіонами важких металів (наприкладі іонів заліза). В результаті дослідження показано, що ефективність сорбційного вилучення катіонів важких металів за допомогою синтезованих нанокompозитних матеріалів на основі активованого вугілля і нанодисперсного оксиду цирконію (IV) зростає зі збільшенням їх заряду і розміру (максимальний ступінь вилучення спостерігається в разі використання заліза (III)). Також з'ясувалося, що адсорбція всіх досліджуваних катіонів важких металів відбувається відповідно до моделі Ленгмюра і має хімічну природу взаємодії: міцність хімічного зв'язку «адсорбат-адсорбент» тим більша, чим менше розмір катіонного забруднювача. Під час вилучення катіонів важких металів за допомогою синтезованих нанокompозитних матеріалів існує в основному необоротна специфічна адсорбція з утворенням β -FeOOH-типу кристалічної структури на поверхні нанодисперсного оксиду цирконію (IV).

З метою удосконалення сорбції катіонів важких металів в процесах доочистки питної води науковцями проекту проводяться дослідження направлені на розробку нових типів сорбентів на основі природних речовин. В роботі [29] наведені результати дослідження сорбційних властивостей хітинвмісних сорбентів, які синтезовані з відходів біотехнологічного виробництва лимонної кислоти. Вивчався процес видалення важких металів (Cu (II), Zn (II), Cr (VI), Cd (II), Pb (II)) з водних розчинів та досліджувався вплив фізико-хімічних параметрів природного сорбенту на ефективність вилучення йонів важких металів в процесах доочистки питної води. На прикладі сорбції йонів свинцю описано механізм сорбційного процесу методом молекулярної меха-

ніки MM+, які підтвердив утворення халатних комплексів в системі Pb(II) – хітин.

Авторами цілого ряду робіт проведені дослідження направлені на вивчення адсорбційних властивостей модифікованих форм бентонітових глин. Наведені результати експериментальних випробувань вказують на ефективність використання активованих природних сорбентів для вилучення пестицидів з поверхневих вод [30, 31, 32, 33].

Також були представлені результати досліджень хемодеструкції органічних сполук стічних вод хімічних виробництв та надані порівняльні характеристики каталітичної активності активованого вугілля та ряду модифікацій активованих природних сорбентів [34].

Забруднення природної води миш'яком є проблемою у всьому світі. Токсичність миш'яку для людини добре відома, так прийом всередину в невеликих кількостях призводить до поступового отруєння, а доза 0,2 г на кг ваги людини може бути летальною. Більшість країн, останнім часом, змінили норми концентрації миш'яку в питній воді від 50 мкг/л до 10 мкг/л. Було запропоновано кілька технологій для того, щоб задовольнити нові критерії якості води, а саме, використання процесів хімічного осадження та сорбційних процесів, коагуляції та мембранних технологій. Застосування спеціальних залізовмісних сорбентів виявилось найбільш перспективним для вирішення цієї проблеми. В роботі [35] висвітлені результати порівняння ефективності різних комерційно доступних миш'як-селективних сорбентів зі спеціально розробленими гібридними сорбентами. Встановлено, що комерційно доступні сорбенти є менш ефективними, так як вони можуть бути регенеровані тільки виробником. У той час як гібридні сорбенти регенеруються прямо в фільтрі і можуть використовуватись безпосередньо у виробничому циклі.

На сьогоднішній день, одним з типових процесів у технології водопідготовки та водочищення, а також одним із перспективних сорбційних методів є іонний обмін, який здійснюється при застосуванні різноманітних іонообмінних матеріалів. Основними напрямками застосування іонітів є пом'якшення та демінералізація води, а також очистка стічних вод промислових підприємств. Авторами [36] розроблено технологію та створено апарат пом'якшення та очищення води в іонообмінному фільтрі безперервної дії, який одночасно

суміщує процеси очищення води та регенерації сорбенту з мінімальними втратами енергії і реагентів. На відпрацьованій іонообмінній смолі вивчена технологія безперервної водопідготовки замкнутого водооборотного циклу, як сфери життя водних організмів.

Також у роботі [37] досліджувались аніоніти, які насичені гуміновими речовинами під час промислової очистки стічної води. Встановлено, що в процесі очистки промислових вод гумінові речовини сорбуються аніонітами та рівномірно розподіляються в шарі аніоніту. Для порівняння досліджувались сорбційні характеристики по відношенню до іонів заліза (II) чистих аніонобмінних смол та смол насичених гуміновими речовинами. Отримані дані свідчать про те, що поглинання Fe(III) гідроксидів відбувається в обох випадках, але для аніонітів, насичених гуміновими речовинами кількість гідроксидів вища, ніж для смол ненасичених гуміновими сполуками. Доведено, що поглинання Fe(III) гідроксидів відбувається завдяки взаємодії між залізовмісними речовинами і гуміновими сполуками на поверхні аніоніту.

Мембранні технології дозволяють вирішувати широкий спектр задач очистки води і надають можливість використовувати нетрадиційні джерела водопостачання, а також забезпечують високий рівень автоматизації, ефективного використання доступних виробничих площ, знижують кількість використаних хімічних реагентів, а також сприяють проектуванню більш гнучких модульних систем [1].

Науковцями проекту, в роботі [38], розглядалось декілька традиційних і нетрадиційних технологій, що використовують мембранні і іонні методи обміну. Аналіз оптимізації основних експлуатаційних витрат процесів демінералізації води Чорного моря показав, що двоступеневий зворотній осмос з використанням середньої і низької щільності мембран можна з успіхом використовувати замість звичайного високого тиску. Це дозволяє знизити основні експлуатаційні витрати на 15-28%. Питна вода може бути отримана шляхом застосування двохстадійного процесу, заснованому на нанофільтрації та мембранних елементах з низькою щільністю. Показано, що основні експлуатаційні витрати на 15-35% нижче в порівнянні зі звичайними процесами обробки морської води.

На сьогоднішній день надзвичайно популярним напрямком в мембранній технології є створення мембранних систем, наповнених

функціональними матеріалами. Використання природних матеріалів в мембранах сприяє покращенню їх проникливості, підвищенню стійкості, механічної та термічної стабільності, а також природні полімерні матеріали можуть надавати мембранам нових унікальних властивостей. Авторами [39] пропонується в якості наповнювачів застосовувати природні полісахариди, а саме хітин та хітозан, які характеризуються унікальними та особливими хімічними та біологічними характеристиками, біосумісністю та бактерицидністю а також здатністю до хелатоутворення з іонами важких металів. В роботі [40] наведені результати дослідження хітозанових плівок, сформованих сухим способом та розглянуті можливості їх модифікації з метою упорядкування структури та зменшення розчинності. На думку авторів досить актуальним є питання іммобілізації хітозану на поверхні мембран з метою покращення їх функціоналізації.

Дослідження осаду. Технологічні процеси водопідготовки завжди супроводжуються утворенням великої кількості відходів, які, в свою чергу, є шкідливими забруднювачами навколишнього середовища. Серед тих відходів, які супроводжують процес водоочищення, слід відзначити небезпечні та токсичні шлами різноманітних виробництв. В зв'язку з цим, в роботах науковців проекту приділяється особлива увага проблемам знешкодження та переробки відходів водоочищення. Авторами [41] показано, що структура шламу тісно пов'язана з процесом очистки стічних вод. В роботі вивчався процес коагуляції синтетичних барвників з стічних вод з використанням коагулянтів PAX і PIX і електрокоагуляції на алюмінієвому електроді. В процесі очистки стічних вод також використовувався органічний полімер. Зображення поверхневих структур досліджуваного шламу були отримані з використанням сканувального електронного мікроскопу (SEM). Аналіз, отриманих результатів дозволяє встановити вплив структури досліджуваного шламу на процес осадження та його зневоднення.

Деякі дослідники розглядають шлам, який отримують при очистці стічних вод, як джерело для отримання фосфору. При вивченні механізму коагуляції, авторами [42] встановлено, що тільки 10% фосфору вилучається при коагуляції стічних вод з використанням коагулянтів на основі алюмінію і заліза. В зв'язку з цим актуальним питанням є можливість покращення якості шламу на ста-

дії його отримання. Вивчалась можливість часткового заміщення неорганічних коагулянтів на органічні катіонні полімери. Експерименти, проведені на модельних стічних водах показали, що при частковій заміні неорганічних коагулянтів на полімерні катіонні є можливість збільшити кількість вилученого фосфору до 44%. Питання знешкодження шламів є надзвичайно актуальним і потребує нових перспективних ідей в напрямку пошуку шляхів їх переробки та подальшого використання.

Висновки. Таким чином, в ході аналізу теоретичних, експериментальних та практичних наукових розробок дослідників з усіх університетів-партнерів, що об'єднують свої зусилля в рамках проекту «Водна гармонія», автори статті дійшли до наступних висновків:

- для всіх країн-членів проекту характерно те, що на законодавчому рівні розглядаються та розв'язуються питання, пов'язані з регулюванням водопостачання та водовідведення, які направлені на виконання вимог до питної води та стоків, частоти їх контролю, а також вимог до систем збирання стічних вод та очисних споруд;

- надзвичайно актуальним питанням є розробка ефективних технологічних схем для очистки води з використанням сучасного обладнання, що сприяє отриманню питної води високої якості;

- особливої уваги заслуговують проблеми, пов'язані з вдосконалення систем очищення на підприємствах важкої, легкої та хімічної промисловостей, які містять різноманітні за складом стічні води зі специфічними домішками;

- значну увагу науковці приділяють фізико-хімічним методам очищення стічних вод, які використовуються як самостійно, так і в поєднанні з механічними, хімічними та біологічними методами.

- вибір методів та способів управління відходами (шламами), що утворюється в процесах водоочищення, базується на обов'язковому їх знешкодженні та переробці.

- основні концепції, на які спрямовані розробки дослідників з країн-партнерів, присвячені розв'язку надзвичайно актуальних питань водопостачання та водовідведення при використанні сучасних наукових підходів з метою збереження дорогоцінного дару природи – питної води для себе та всіх майбутніх поколінь.

Список літератури

1. Фізико-хімічні методи очищення води. Керування водними ресурсами: підручник. В рамках проекту "Water Harmony", ТОВ "Друкарня Вольф". 2015. 578 с. ISBN 978-82-999978-3-6.
2. Fettig, J. Drinking water quality and protection of resources. *International Review of Applied Sciences and Engineering*. 2010. 1 (1-2). P. 51–54.
3. Meinzinger, F., Oldenburg, M. Water characteristics of source-separated household wastewater flows: a statistical assessment. *Science and Technology*. 2009. 59 (9). P. 1785–1791.
4. Oldenburg, M., Sekoulov, I. Multipurpose filters with ion-exchanger for the equalization of ammonia peaks. *Water Science and Technology*. 2009. 32 (7). P. 199–206.
5. Fettig, J., Pick, V., Austermann-Haun, U., Blumberg, M., & Phuoc, N. V. Treatment of tapioca starch wastewater by a novel combination of physical and biological processes. *Water Science and Technology*. 2013. 68 (6). P. 1264–1270.
6. Obushenko, T., Tolstopalova, N., Kulesha, O., Astrelin, I. Thermodynamic studies bromphenol blue removal from water using solvent sublation. *Chemistry & Chemical Technology*. 2016. 10 (4). P. 515–518.
7. Kosogina, I., Astrelin, I., Krimets, G., Vereshchuk, N. The process of wastewater treatment with advanced oxidation methods to remove dye. *Chemistry & Chemical Technology*. 2014. 8 (3). P. 365–369.
8. Солодовник Т. В. Сорбция растворимых красителей на хитинсодержащих комплексах. *Химия и технология воды*. 2003. 25 (4). С. 342–349.
9. Dontsova, T. A., Ivanenko, I., Astrelin, I. Synthesis and characterization of titanium (IV) oxide from various precursors. *Springer Proceedings in Physics*. 2015. 167. P. 275–293.
10. Mykhailenko, N., Makarchuk, O., Dontsova, T., Gorobets, S. and Astrelin, I. Purification of aqueous media by magnetically operated saponite sorbents. *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*. 2015. 4. P. 13–20.
11. Kozminykh, P., Heistad, A., Ratnaweera, H. C. & Todt, D. Impact of organic polyelectrolytes on coagulation of source-separated black water. *Environmental technology*. 2016. 37 (14). P. 1723–1732.
12. Sivchenko, N., Kvaal, K., & Ratnaweera, H. Evaluation of image texture recognition techniques in application to wastewater coagulation. *Cogent Engineering*. 2016 (just-accepted).
13. Ratnaweera, H. & Fettig, J. State of the art of online monitoring and control of the coagulation process. *Water*. 2015. 7 (11). P. 6574–6597.
14. Smoczyński, L., Muńska, K. T., Kosobucka, M., Pierożyński, B., Wardzyńska, R. & Załęska-Chróst, B. Destabilization of model wastewater in the chemical coagulation process. *Ecological Chemistry and Engineering*. 2014. 21 (2). P. 269–279.
15. Fettig, J., Miethe, M. & Kassebaum, D. I. F. Coagulation and precipitation by an alkaline aluminium coagulant. *Chemical Water and Wastewater Treatment IV*. 1996. P. 107–117.
16. Chepurna, I., Smotraev, R., Kanibolotsky, V., Strelko, V. Colloidal and chemical aspects of nanosized hydrated zirconium dioxide synthesized via a sol–gel process. *Journal of Colloid and Interface Science*. 356 (2). P. 404–411.
17. Гевод В. С., Решетняк И. Л., Гевод С. В., Шклярова И. Г. Биосорбция и биоокисление в комбинированных водоочистительных устройствах с пузырьково-пленочной экстракцией и циркуляционной гетерокоагуляцией. *Вопросы химии и химической технологии*. 2009. 3. С. 162–172.
18. Smoczyński, L., Muńska, K. T., Pierożyński, B. & Kosobucka, M. Electrocoagulation of model wastewater using iron elect. *Ecological Chemistry and Engineering. A*. 2013. 20 (10), pp. 1143–1152.
19. Smoczyński, L., Muńska, K. T., Pierożyński, B., Kosobucka, M. Electrocoagulation of model wastewater using aluminum electrodes. *Polish Journal of Chemical Technology*. 2012. 14 (3). P. 66–70.
20. Svetlieishaya, E. M., Mitchenko, T. E., Astrelin, I. M. Removal of natural organic matters by ultrafiltration with coagulant dispensing in a flow. *Journal of Water Chemistry and Technology*. 2014. 36 (1). P. 47–56.

21. Столяренко Г. С. Механизм реакции хемодеструкции озона в гетерофазных окислительных процессах. *Вісник Черкаського інженерно-технологічного інституту*. 1999. № 1. С. 98–104.
22. Столяренко Г. С. Розкладання озону у водних системах газ-рідина. *Експрес-новини: наука, техніка, виробництво*. Укр-ІНТЕІ. 1998. № 7. С. 12–14.
23. Столяренко Г. С. Хемодеструкция озона и гетерофазные окислительные процессы. *Современные проблемы ХТНВ: сб. науч. тр.* 2001. 1. С. 161–163.
24. Stolyarenko, H. Selective method of ozone-radical destruction cells malignant tumors. The method “soft radiation”. *Journal of International Scientific Publications: Ecology Safety*. 2013. 7 (1). P. 275–287.
25. Столяренко Г. С. Озонирование и электрокатализ. Теоретические основы и технологии (к 40-летию творческой деятельности в области патентования). *Вісник Черкаського державного технологічного університету*. 2010. № 1. С. 92–107.
26. Fettig, J. Modelling the uptake of natural organic matter (NOM) by different granular sorbent media. *Journal of Water Supply: Research and Technology-AQUA*. 2005. 54 (2). P. 83–93.
27. Makarchuk, O. V., Dontsova, T. A., Astrelin, I. M. Magnetic nanocomposites as efficient sorption materials for removing dyes from aqueous solutions. *Nanoscale Research Letters*. 2016. 11 (1). P. 161.
28. Doncova, T. A., Astrelin, I. M. and Fedenko, J. N. Regularities of cation sorption from water by an activated carbon-based nanocomposite. *Water and Ecology*. 2015. 1. P. 29–38.
29. Solodovnik, T. Application of chitincontaining sorbents for treatment of water solution. In: J. M. Loureiro and M. T. Kartel (eds). *Combined and Hybrid Adsorbents*. 2006. P. 275–280.
30. Фоміна Н. М. Проблеми водопідготовки та одержання якісної питної води. *Вісник Черкаського інженерно-технологічного інституту*. 1999. № 1. С. 105–109.
31. Фоміна Н. М. Озоно-каталітичний метод очищення стічних вод з використанням природних сорбентів. *Вісник Черкаського інженерно-технологічного інституту*. 1999. № 3. С. 44–48.
32. Фоміна Н. М., Столяренко Г. С. Дослідження каталітичної активності природних сорбентів при очищенні стічних вод. *Вісник Черкаського інженерно-технологічного інституту*. 2000. № 1. С. 41–48.
33. Фомина Н. М., Столяренко Г. С. Исследования каталитической активности природных сорбентов при очистке сточных вод. *Озон и другие экологически чистые окислители. Наука и технология: сб.* 2005. № 2. С. 173–176.
34. Фоміна Н. М., Столяренко Г. С., Діденко Т. В. Рациональне використання природних сорбентів для одержання чистої питної води. *Вісник Черкаського інженерно-технологічного інституту*. 1999. № 4. С. 120–125.
35. Maletskyi, Z. et al. Comparative assessment of sorption properties of commercially available and experimental hybrid materials aimed to impurities of As (III) and As (V) in water. *Water & Water Purification Technologies. Scientific & Technical News*. 2012. 1. P. 21–30.
36. Stolyarenko, H., Kostygin, V., Gromyko, A. Using the ion exchange reactor of continuous action. Selected publications from the Water Harmony project: Water Research and Technology. 2015. P. 245–252.
37. Maletskyi, Z., Mitchenko, T., Makarova, N. & Hoell, W. H. Properties of anion exchange resins exhausted by humic compounds. *Desalination and Water Treatment*. 2011. 25 (1-3). P. 78–83.
38. Fendri, F., Mitchenko, T. & Maletskyi, Z. Optimization of the reverse osmosis seawater demineralization technologies for a power producing industry. *Desalination and Water Treatment*. 2011. 25 (1-3). P. 84–90.
39. Пат. 89696 України, МКП C08B 37/08. Спосіб отримання плівок на основі хітозану. Столяренко Г. С., Солодовнік Т. В., Куриленко Ю. М., Єгорова О. В. (Україна), Заяв. 09.12.13, Опубл. 25.04.2014, Бюл. № 8
40. Солодовнік Т. В., Столяренко Г. С., Єгорова О. В., Сафонова О. Ф., Кравченко С., Дзігора Ю. Термічна модифікація плівок на основі хітозану для застосування в технологічних процесах очистки води. *Вісник Черкаського державного технологічного університету*. 2015. № 1. С. 167–173.

41. Smoczyński, L., Ratnaweera, H., Kosobucka, M., Smoczyński, M., Kalinowski, S. & Kvaal, K. Modelling the structure of sludge aggregates. *Environmental technology*. 2016. 37 (9). P 1122–1132.
42. Manamperuma, L. D., Ratnaweera, H. C. Coagulation mechanisms during the substitution of inorganic salts with cationic polymers to increase the sludge value. *Journal of Water Resource and Protection*. 2015. 7 (17). P. 1495.
9. Dontsova, T. A., Ivanenko, I., Astrelin, I. (2015). Synthesis and characterization of titanium (IV) oxide from various precursors. *Springer Proceedings in Physics*, 167, pp. 275–293.
10. Mykhailenko, N., Makarchuk, O., Dontsova, T., Gorobets, S. and Astrelin, I. (2015). Purification of aqueous media by magnetically operated saponite sorbents. *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*, 4, pp. 13–20.
11. Kozminykh, P., Heistad, A., Ratnaweera, H. C., & Todt, D. (2016). Impact of organic polyelectrolytes on coagulation of source-separated black water. *Environmental technology*, 37 (14), pp. 1723–1732.
12. Sivchenko, N., Kvaal, K., & Ratnaweera, H. (2016). Evaluation of image texture recognition techniques in application to wastewater coagulation. *Cogent Engineering* (just-accepted).
13. Ratnaweera, H. & Fettig, J. (2015). State of the art of online monitoring and control of the coagulation process. *Water*, 7 (11), pp. 6574–6597.
14. Smoczyński, L., Muńska, K. T., Kosobucka, M., Pierożyński, B., Wardzyńska, R. & Załęska-Chróst, B. (2014). Destabilization of model wastewater in the chemical coagulation process. *Ecological Chemistry and Engineering*, 21 (2), pp. 269–279.
15. Fettig, J., Miethe, M. & Kassebaum, D. I. F. (1996). Coagulation and precipitation by an alkaline aluminium coagulant. *Chemical Water and Wastewater Treatment IV*, pp. 107–117.
16. Chepurna, I., Smotraev, R., Kanibolotsky, V., Strelko, V. Colloidal and chemical aspects of nanosized hydrated zirconium dioxide synthesized via a sol–gel process. *Journal of Colloid and Interface Science*. 356 (2), pp. 404–411.
17. Hevod, V. S., Reshetniak, Y. L., Hevod, S. V., Shkliarova, Y. H. (2009). Biosorption and biooxidation in combined water purification devices with bubble-film extraction and circulating heterocoagulation. *The Issues of Chemistry and Chemical Technology*, (3), pp. 162–172 (in Rus.).
18. Smoczyński, L., Muńska, K. T., Pierożyński, B. & Kosobucka, M. (2013). Electrocoagulation of model wastewater

References

1. Physico-chemical methods of water purification. Management of water resources. Textbook. The project “Water Harmony”, TOV “Drukarnia Volf”, 2015. 578 p. ISBN 978-82-999978-3-6 (in Ukr.).
2. Fettig, J. (2010). Drinking water quality and protection of resources. *International Review of Applied Sciences and Engineering*, 1 (1-2), pp. 51–54.
3. Meinzinger, F., Oldenburg, M. (2009). Water characteristics of source-separated household wastewater flows: a statistical assessment. *Science and Technology*, 59 (9) pp. 1785–1791.
4. Oldenburg, M., Sekoulov, I. (2009). Multipurpose filters with ion-exchanger for the equalization of ammonia peaks. *Water Science and Technology*, 32 (7), pp. 199–206.
5. Fettig, J., Pick, V., Austermann-Haun, U., Blumberg, M., & Phuoc, N. V. (2013). Treatment of tapioca starch wastewater by a novel combination of physical and biological processes. *Water Science and Technology*, 68 (6), pp. 1264–1270.
6. Obushenko, T., Tolstopalova, N., Kulesha, O., Astrelin, I. (2016). Thermodynamic studies bromphenol blue removal from water using solvent sublation. *Chemistry & Chemical Technology*, 10 (4), pp. 515–518.
7. Kosogina, I., Astrelin, I., Krimets, G., Vereshchuk, N. (2014). The process of wastewater treatment with advanced oxidation methods to remove dye. *Chemistry & Chemical Technology*, 8 (3), pp. 365–369.
8. Solodovnik, T. V. (2003). Sorption of soluble dyes on chitincontaining complexes. *Chemistry & Chemical Technology*, 25 (4), pp. 342–349 (in Rus.).

- using iron elect. *Ecological Chemistry and Engineering. A*, 20 (10), pp. 1143–1152.
19. Smoczyński, L., Muńska, K. T., Pierożyński, B., Kosobucka, M. (2012). Electrocoagulation of model wastewater using aluminum electrodes. *Polish Journal of Chemical Technology*, 14 (3), pp. 66–70.
 20. Svetlieishaya, E. M., Mitchenko, T. E., Astrelin, I. M. (2014). Removal of natural organic matters by ultrafiltration with coagulant dispensing in a flow. *Journal of Water Chemistry and Technology*, 36 (1), pp. 47–56.
 21. Stolyarenko, H. (1999). Mechanism of reaction of ozone chemodestruction in heterophase oxidation processes. *Visnyk Cherkaskoho inzhenerno-tekhnologichnoho instytutu*, (1), pp. 98–104 (in Rus.).
 22. Stolyarenko, H. (1998). The decomposition of ozone in water systems gas-liquid. *Ekspres-novyny: nauka, tekhnika, vyrobnytstvo*. UkrINTEI, (7), pp. 12–14 (in Ukr.).
 23. Stolyarenko, H. (2001). Chemodestruction of ozone and heterophase oxidation processes. *Sovremennye problemy KhTNV: sb. nauch. tr.*, (1), pp. 161–163 (in Rus.).
 24. Stolyarenko, H. (2013). Selective method of ozone-radical destruction cells malignant tumors. The method “soft radiation”. *Journal of International Scientific Publications: Ecology Safety*, 7 (1), pp. 275–287.
 25. Stolyarenko, H. (2010). Ozonation and electrocatalysis. Theoretical bases and technologies (to the 40th anniversary of creative activity in the field of patenting). *Visnyk Cherkaskoho derzhavnoho tehnologichnoho universytetu*, (1), pp. 92–107 (in Rus.).
 26. Fetting, J. (2005). Modelling the uptake of natural organic matter (NOM) by different granular sorbent media. *Journal of Water Supply: Research and Technology-AQUA*, 54 (2), pp. 83–93.
 27. Makarchuk, O. V., Dontsova, T. A., Astrelin, I. M. (2016). Magnetic nanocomposites as efficient sorption materials for removing dyes from aqueous solutions. *Nanoscale Research Letters*, 11 (1), p. 161.
 28. Doncova, T. A., Astrelin, I. M. and Fedenko, J. N. (2015). Regularities of cation sorption from water by an activated carbon-based nanocomposite. *Water and Ecology*, (1), pp. 29–38.
 29. Solodovnik, T. (2006). Application of chitincontaining sorbents for treatment of water solution. In: J. M. Loureiro and M. T. Kartel (eds)/ *Combined and Hybrid Adsorbents*, pp. 275–280.
 30. Fomina, N. (1999). The problems of water and obtain safe drinking water. *Visnyk Cherkaskoho inzhenerno-tekhnologichnoho instytutu*, (1), pp. 105–109 (in Ukr.).
 31. Fomina, N. (1999). Ozone-catalytic wastewater treatment using natural sorbents. *Visnyk Cherkaskoho inzhenerno-tekhnologichnoho instytutu*, (3), pp. 44–48 (in Ukr.).
 32. Fomina, N., Stolyarenko, H. (2000). Investigation of the catalytic activity of natural sorbents with sewage water. *Visnyk Cherkaskoho inzhenerno-tekhnologichnoho instytutu*, (1), pp. 41–48 (in Ukr.).
 33. Fomina, N. Stolyarenko, H. (2005). Studies of the catalytic activity of natural sorbents in wastewater treatment. *Ozon i drugiye ekologicheskkiye chistyye okisliteli. Nauka i tekhnologiya: sb.* (2), pp. 173–176 (in Rus.).
 34. Fomina, N. Stolyarenko, H., Didenko, T. (1999). Rational use of natural sorbents for clean drinking water. *Visnyk Cherkaskoho inzhenerno-tekhnologichnoho instytutu*, (4), pp. 120–125 (in Ukr.).
 35. Maletskyi, Z. et al. (2012). Comparative assessment of sorption properties of commercially available and experimental hybrid materials aimed to impurities of As (III) and As (V) in water. *Water & Water Purification Technologies. Scientific & Technical News*, (1), pp. 21–30.
 36. Stolyarenko, H., Kostygin, V., Gromyko A. (2015). Using the ion exchange reactor of continuous action. Selected publications from the Water Harmony project: Water Research and Technology, pp. 245–252.
 37. Maletskyi, Z., Mitchenko, T., Makarova, N. & Hoell, W. H. (2011). Properties of anion exchange resins exhausted by humic compounds. *Desalination and Water Treatment*, 25 (1-3), pp. 78–83.
 38. Fendri, F., Mitchenko, T. & Maletskyi, Z. (2011). Optimization of the reverse osmosis seawater demineralization technologies for a power producing industry. *Desalination and Water Treatment*, 25 (1-3), pp. 84–90.

39. Ukrainian patent 89696, MKP C08B 37/08. The method of chitosan based films production. Stolyarenko, H. S., Solodovnik, T. V., Kurilenko, U. M., Egorova, O. V (Ukraine). Applied 09.12.13, Published 25.04.2014, Bulletin № 8 (in Ukr.).
40. Solodovnik, T., Stolyarenko, H., Yehorova, O., Safonova, O., Kravchenko, S., Dzhiora, Yu. (2015). Thermal modification of films based on chitosan for use in manufacturing processes of water treatment. *Visnyk Cherkaskoho derzhavnoho tehnolohichnoho universytetu*, (1), pp. 167–173 (in Ukr.).
41. Smoczyński, L., Ratnaweera, H., Kosobucka, M., Smoczyński, M., Kalinowski, S. & Kvaal, K. (2016). Modelling the structure of sludge aggregates. *Environmental technology*, 37 (9), pp. 1122–1132.
42. Manamperuma, L. D., Ratnaweera, H. C. (2015). Coagulation mechanisms during the substitution of inorganic salts with cationic polymers to increase the sludge value. *Journal of Water Resource and Protection*, 7 (17), p. 1495.

T. V. Solodovnik, Ph.D., associate professor,
e-mail: t.solodovnik@chdtu.edu.ua

H. S. Stolyarenko, Dr.Tech.Sc., professor
e-mail: radikal@ukr.net

Cherkasy State Technological University
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

ADDRESSING OF TOPICAL ISSUES OF WATER AND WASTEWATER TREATMENT BY SCIENTISTS OF INTERNATIONAL PROJECT «WATER HARMONY»

This article analyzes the areas of scientific research that are devoted to water treatment and water supply. The authors of the articles are presented in the literature review, there are scientists from partner universities working in the project «Water Harmony» Erasmus+ «Harmonising water related graduate education».

The purpose of the work. *The aim is to analyze the results described in the articles and aimed at solving the problems of drinking water, wastewater treatment, disposal and recycling of sludge.*

The main material. *The article described the general approaches to the regulation of water treatment and water supply, aimed at meeting the requirements for wastewater treatment, the frequency of their control and requirements for collection systems and wastewater treatment plants. The authors analyzed the main directions of development of technological schemes for sewage treatment and the effective use of modern equipment. The paper shows the characteristic towards improving treatment systems for heavy, light and chemical industries. Wastewater these factories have different composition of specific impurities.*

Scientists of project in their articles make recommendations for research, classification and treatment of domestic wastewater. And they also pay special attention to physical-chemical wastewater treatment, used either alone or in combination with mechanical, chemical and biological methods. Scientists of project examined ways of disposal and recycling of precipitation sludge generated in the water purification process.

Conclusions. *Thus, research of scientists from partner countries based on concepts aimed at the solution of highly topical issues of water treatment and water supply, as well as the use of modern scientific approaches to preserve the precious gift of nature - drinking water for themselves and all future generations.*

Keywords: *water treatment, drinking water, waste water, filtration, coagulation, sorption, sludge.*

Статтю представляє Г. С. Столяренко, д.т.н, професор, Черкаський державний технологічний університет.