

УДК 614.878

В.Л. Филипчук, Л.В. Филипчук, О.С. Шаталов

Національний університет водного господарства та природокористування

## БЕЗПЕКА ЕКСПЛУАТАЦІЇ АВТОМАТИЗОВАНИХ ОЧИСНИХ СПОРУД ДЛЯ ЗНЕШКОДЖЕННЯ СТІЧНИХ ВОД З ТОКСИЧНИМИ ОКИСНО-ВІДНОВНИМИ ДОМІШКАМИ

**Филипчук В.Л., Филипчук Л.В., Шаталов О.С.** Безпека експлуатації автоматизованих очисних споруд для знешкодження стічних вод з токсичними окисно-відновними домішками. В статті розглядаються процеси утворення шкідливих для обслуговуючого персоналу продуктів хімічних реакцій при очищенні стічних вод з токсичними домішками. Визначено характер впливу шкідливих речовин на працівників. Подані шляхи підвищення безпеки експлуатації локальних очисних споруд при очищенні стічних вод за умов утворення шкідливих речовин.

**Ключові слова:** безпека, шкідливі речовини, очистка, стічні води, токсичні домішки

**Форм. 3. Табл. 1. Рис. 3. Літ. 15.**

**Filipchuk VL, Filipchuk LV, Shatalov AS** Safety of operation of automated treatment plants for wastewater treatment with toxic redox impurities. The article deals with processes of dangerous to the service personnel chemical reactions formation in the treatment of wastewater with toxic impurities. Nature of influence of harmful substances on personnel is determined. Ways of increasing safety of local treatment facilities operation for wastewater treatment in conditions of harmful substances formation are presented.

**Keywords:** safety, hazardous substances, treatment, sewage, toxic impurities, automation.

**Филипчук В.Л., Филипчук Л.В., Шаталов А.С.** Безопасность эксплуатации автоматизированных очистных сооружений для обезвреживания сточных вод с токсичными окислительно-восстановительными примесями. В статье рассматриваются процессы образования вредных для обслуживающего персонала продуктов химических реакций при очистке сточных вод с токсичными примесями. Определен характер влияния вредных веществ на работников. Представленные пути повышения безопасности эксплуатации локальных очистных сооружений при очистке сточных вод при условиях образования вредных веществ.

**Ключевые слова:** безопасность, опасные вещества, очистка, сточные воды, токсичные примеси

**Постановка проблеми.** Під час виготовлення продукції у цехах гальваніки та друкованих плат утворюються металовмісні стічні води, що вміщують токсичні домішки, зокрема хромові та ціаністі стоки. Такі стічні води є вкрай небезпечними для обслуговуючого персоналу та довкілля. Ці стоки знешкоджуються на окремих локальних очисних спорудах, після чого скидаються у загальний потік кисло-лужних стічних вод, що утворюються на промислових підприємствах з метою спільного їх доочищення

Найбільш поширеним методом очищення хромових та ціаністих стоків є реагентний метод. Однак під час реагентного знешкодження токсичних домішок застосовується комплекс небезпечних і шкідливих реагентів та можуть виникати вторинні продукти, які при їх взаємодії вкрай негативно впливають на працівників та навколишнє середовище. Тому аналіз таких чинників та розробка заходів та засобів з попередження їх негативного впливу є достатньо актуальною задачею.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Найбільш небезпечними домішками у металовмісних стічних водах, що подаються на локальні очисні споруди, є ціаніди ( $CN$ ) та шестивалентний хром ( $Cr_2O_7^{2-}$ ), які мають окисно-відновні властивості.

Сполуки хрому(VI) є сильними окисниками. Симптоми отруєння хромом залежать від тривалості контакту з ним та шляхів надходження в організм. При попаданні на шкіру хром(VI) може викликати опіки шкіри, важке загальне отруєння. Може початися шлунково-кишкова кровотеча, некроз печінки та підшлункової залози. Найважче при отруєнні хромом уражаються органи дихання. При вдиханні хром(VI) викликає запалення, кашель, професійну бронхіальну астму, пневмосклероз і пневмоконіоз. Значно зростає ризик раку легенів [1, 2].

Знешкодження хрому(VI) проводиться шляхом його відновлення до хрому(III), який є значно менш токсичним, за допомогою реагентів-відновників. У більшості випадків в якості відновників застосовують сірковмісні реагенти, а також сполуки двовалентного заліза. Відновлення з використанням сірковмісних реагентів протікає в основному за рахунок взаємодії хрому(VI) з бісульфітом, сульфідом натрію. Відновлення проводиться у кислому середовищі при  $pH < 2,5-3,0$ , що потребує попереднього підкислення стічної води. Обробка стічної води включає підкислення сірчаною кислотою, уведення відновника і подальше підлогування для осадження утвореного хрому(III) у вигляді гідроксиду [3, 4].

Відновлення хрому(VI) двовалентним залізом та його сполуками може проходити в будь-якому середовищі. Найбільш розповсюдженим є відновлення у кислому або нейтральному середовищах за допомогою сірчаноокислого заліза(II) з наступним уведенням лугу для осадження іонів заліза(III) і хрому(III) [5].

Реагенти, які використовуються, є небезпечними для обслуговуючого персоналу. Бісульфіт натрію може призвести до отруєння, яке супроводжується болями у шлунку, нудотою, блювотою, діареєю, сплутаністю свідомості і задухою. Сірчана кислота та сірчаноокисле залізо викликають подразнення або опіки шкіри і слизової оболонки. У дихальній системі виникають хрипи, сильні болі в горлі, можливий спазм. Починаються порушення в роботі серцево-судинної системи. Для смертельного наслідку цілком достатньо, щоб всередину потрапило всього 5 мг сірчаної кислоти.

Ціаніди (синильна кислота) є надзвичайно-токсичною речовиною. Токсична дія проявляється в паралічі поглинання кисню клітинами. Цим гальмується нормальний перебіг процесу тканинного дихання. Внаслідок цього в організмі швидко формується патологічний стан, відомий під назвою тканинної або гістотоксичної гіпоксії, що проявляється задухою, важким порушенням роботи серця, судомами, паралічем і смертю [6, 7].

Для окиснення ціанідних іонів найбільш широко застосовується активний хлор (гіпохлорит натрію, діоксид хлору, хлорне вапно), менше – озон, пероксид водню тощо. Найбільш розповсюдженим окисником є гіпохлорит натрію. Окиснення ціанідів цим реагентом проводиться при рН більше 10,5. Окиснення ціанідів відбувається у дві стадії. На першій протікає процес окиснення простих або комплексних (цинкових, мідних, нікелевих) ціанідів до ціанатів, які знешкоджуються на другій стадії за рахунок гідролізу при меншому значенні рН. В результаті окиснення ціанідів утворюються азот і вуглекислота [8].

Гіпохлорит натрію є сильним окисником, який при попаданні на шкіру та слизові оболонки рота, очей, легенів руйнує їх. У легких випадках отруєння обмежується почервонінням кон'юнктиви, м'якого піднебіння і глотки. При вдиханні високих концентрацій гіпохлориту натрію розвивається так звана блискавична форма ураження. Потерпілий задихається, обличчя синіє, рухи некоординовані, пульс частий і потім ниткоподібний. Смерть настає швидко в результаті рефлекторної зупинки дихання та опіку легенів.

Отруєння їдким натром найчастіше настає за випадкового попадання речовини або її парів всередину організму. Їдкий натр має різко виражені властивості до руйнування тканин. Спочатку уражається слизова оболонка рота, на ній виникають виразки. Їдкий натр легко проникає крізь тканини, при цьому утворюється пухка і опікова поверхня. Також можливе ураження слизових оболонок очей [6, 7].

За ступенем впливу на організм людини серед токсичних домішок та використовуваних реагентів переважає II і III класи небезпечності – високо- та помірнебезпечні речовини (табл. 1).

Таблиця 1. Характеристика небезпечності речовин в очисних спорудах для очищення стічних вод від ціанідів та хрому(VI)

№ з/п	Найменування речовини	Клас небезпечності	Середня концентрація у стічних водах, мг/дм <sup>3</sup>
1.	Ціаніди	II	10-15
2.	Хром(VI)	I	15-20
3.	Гіпохлорит натрію	II	40-60
4.	Бісульфіт натрію	III	90-110
5.	Їдкий натрій	II	60-80
6.	Сірчана кислота	II	10-20
7.	Сірчаноокисле залізо(II)	III	75-110
8.	Гідроксиди заліза(III) та хрому(III)	III	45-70

Під час очищення ціаністих та хромових стічних вод застосовують в першу чергу засоби індивідуального захисту. Всі працівники, повинні бути забезпечені спецодягом, спецвзуттям та індивідуальними засобами захист. Одяг та взуття при виконанні робіт, що вимагають контакту з реагентами, видається спеціальний, з підвищеним ступенем захисту. Обов'язковими є окуляри, респіратори і маска з оргскла. Для надання екстреної допомоги працівнику при отруєнні,

попаданні стічних вод або реагентів на шкіру та слизові оболонки на робочих місцях повинні бути встановлені висхідні фонтанчики, раковини самопомоги, аварійні душі [11-13].

Значна увага приділяється очищенню повітря у робочій зоні і приміщеннях. Улаштовується загальна припливно-витяжна вентиляція, а також за необхідності місцеве відведення забрудненого повітря із робочої зони за допомогою витяжного обладнання, зокрема у вигляді бортових або парасольних відсмоктувачів [14].

В той же час, під час очищення токсичних стічних вод, змішування знешкоджених стоків або недотримання параметрів технологічного процесу можуть утворюватися вторинні токсичні продукти, які негативно впливають на працівників як очисних споруд, так і інших виробництв і потребують додаткових заходів безпеки.

**Невирішені частини проблеми.** Являючись одним із найбільших споживачів води, гальванічне виробництво має найбільш токсичні і шкідливі стічні води. Українськими та закордонними вченими (В. М. Рогов, А. К. Запольській, Г. С. Пантелят, В. Є. Терновцев, Г. М. Кочетов, М. Д. Гомеля, В. Є. Генкін, Ф. П. Волоцков, Л. В. Мілованов, G.C. Cushni, J. W. Patterson, J. V. Rouse, J. Maly та ін.) постійно висвітлюються різноманітні проблеми пов'язані з очищенням стічних вод та безперервно удосконалюються його технології і установки. Однак питання, присвячені безпечній експлуатації установок для очищення стічних вод в залежності від впливу на обслуговуючий персонал токсичних речовин, які можуть виникнути внаслідок комплексного використання різних реагентів, в літературі практично не розглядаються.

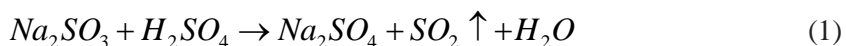
**Метою дослідження** є оцінка можливості утворення побічних вторинних продуктів при очищенні ціаністих та хромвмісних стічних вод від хрому(VI) та ціанідів і розробці додаткових технічно-організаційних заходів з безпечної експлуатації локальних очисних споруд промислових підприємств.

**Методика досліджень.** Досягнення мети реалізовувалось на підставі фізичного моделювання процесів очищення хромових та ціаністих стічних вод, що вміщують домішки з окисно-відновними властивостями, з використанням відомих рівнянь окисно-відновних процесів, чисельних та аналітичних методів визначення параметрів технологічних процесів, дослідних даних, одержаних в лабораторних та виробничих умовах.

При проведенні досліджень для визначення параметрів активної реакції рН та окисно-відновного потенціалу Eh, концентрацій важких металів та інших домішок застосовані стандартні методики проведення хімічних аналізів: колориметричний та потенціометричний. Лабораторні і дослідно-виробничі дослідження проводились з використанням сертифікованих методик фізико-хімічних аналізів та експериментальної лабораторної бази НУВГП та закордонних підприємств.

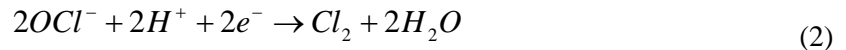
Інформаційною основою для оцінки і розробки необхідних засобів та заходів з безпечної експлуатації споруд для знешкодження стічних вод, що вміщують ціаніди та хром(VI), слугували державні будівельні норми, нормативно-правові акти з охорони праці та практичний досвід, отриманий авторами на промислових підприємствах різних країн, зокрема «US Steel», «Lukas autobrzdy», «Volkswagen» тощо, під час експлуатації установок для знешкодження токсичних домішок у стічних водах різноманітного складу.

**Основні результати дослідження.** Під час відновлення хрому(VI) за допомогою сірчаноокислого заліза(II) у воді утворюються іони та гідроксиди хрому(III) та заліза(III), які мають III та IV класи небезпеки, що надалі вилучаються під час фільтрування після підлужування обробленої стічної води до рН 9-10. При застосуванні сірчовмісних реагентів у кислому середовищі із стічної води можливе виділення значних кількостей діоксиду сірки (сірчастого газу) SO<sub>2</sub>, особливо при зниженні рН середовища нижче 3-4 [8].



Діоксид сірки є токсичною речовиною. Симптоми при отруєнні – нежить, кашель, захриплість, першіння у горлі. При вдиханні сірчастого газу більш високої концентрації – задуха, розлад мови, блювання, можливий гострий набряк легенів [6, 7].

Під час знешкодження ціаністих стоків гіпохлоритом натрію у стічну воду необхідно подавати значний надлишок цього реагенту, що забезпечує повне окиснення високотоксичних ціанідів. При зниженні рН в процесі хімічної реакції або попаданні у змішувач-реактор кислих стічних вод при рН менше 6,7 можливе утворення газоподібного хлору, який є сильним окисником, що особливо небезпечно впливає на слизові оболонки та має задушливу дію.



Під час зниження рН також можливе протікання реакції прямого хлорування ціанідів з утворенням надзвичайно токсичного хлорціану  $\text{CNCl}$  [8]:



Хлорціан – безбарвна рідина з гострим запахом. Надходить в організм через органи дихання, шлунково-кишковий тракт, дуже швидко всмоктується через слизові оболонки. Уражається центральна нервова система, страждають дихальні та судинорухові центри. При хронічному отруєнні знижується діяльність щитовидної залози. При високих концентраціях настають судоми, втрата свідомості та миттєва смерть внаслідок паралічу дихання або паралічу серця [13]. Утворені газоподібний хлор відноситься до II класу, сірчистий газ – до III класу, хлорціан – до II класу небезпечності.

При змішуванні знешкоджених стічних вод із загальним потоком кисло-лужних стоків можливо утворення ряду небезпечних речовин. Оскільки знешкоджені ціаністи стічні води мають у своєму складі надлишок гіпохлориту натрію, то при змішуванні із знешкодженими хромовими стічними водами, що вміщують тривалентний хром, можливе протікання зворотної реакції окиснення хрому(III) у токсичний хром(VI), особливо в лужному середовищі, яке створюється для осадження іонів важких металів. Це підтверджується розрахунками із використанням значень окисно-відновного потенціалу  $E_h$ , який можна використовувати для оцінки протікання окисно-відновних реакцій знешкодження токсичних домішок.

Розрахунки показують, що окиснення хрому(III) у стічній воді з рН=8 можливе при величині  $E_h > +0,6\text{В}$ , з рН=9 – при  $E_h > +0,5\text{В}$ , з рН=10 – при  $E_h > +0,4\text{В}$ . Експериментальні результати наших досліджень підтверджують, що при змішуванні знешкоджених хромвмісних і ціаністих стічних вод при рН середовища у межах 8,5-9,5 і  $E_h$  у межах  $+(0,5-0,7)\text{В}$  відбувається часткове зворотне окиснення хрому(III), в результаті чого концентрація хрому(VI) збільшується до 0,8-2,2 мг/дм<sup>3</sup> при їх допустимих концентраціях у воді, менше 0,1 мг/дм<sup>3</sup>.

Для запобігання окисненню хрому(III) при змішуванні знешкоджених хромвмісних стічних вод та інших стоків з високими значеннями  $E_h$  потрібно проводити їх змішування перед відновленням хромвмісних стічних вод. Це дозволить нейтралізувати окисні властивості інших стоків за рахунок відновників, що використовуються для відновлення хрому(VI). При неможливості такого змішування потрібна спеціальна попередня нейтралізація окисних властивостей стоків для зниження  $E_h$  середовища до  $+(0,2-0,3)\text{В}$  за допомогою введення відновників і потенціометричного контролю за величиною  $E_h$ .

Існуючі засоби індивідуального захисту забезпечують безпеку працівників при виділенні інших токсичних речовин. Технічні та інші вимоги до трубопроводів, арматури, насосів, насосів-дозаторів, приміщень тощо повинні відповідати прийнятим нормативним документам [9-14]. Додаткові заходи безпеки під час експлуатації локальних очисних споруд знешкодження хромових та ціаністих стоків відносяться до технічно-організаційних.

Важливим заходом з мінімізації виділення токсичних продуктів хімічних реакцій при очищенні стічних вод є необхідність підтримання у заданих межах основних параметрів знешкодження, зокрема величин рН та окисно-відновного потенціалу  $E_h$  водного середовища. Це можна досягти при застосуванні у технологічній схемі очищення стічних вод непроточних змішувачів-реакторів, яких повинно бути не менше двох, щз працюють поперемінно. В першому змішувачі-реакторі проводиться процес знешкодження стічної води, а у другому – її накопичення. Цикл обробки стічної води у змішувачі-реакторі включає: накопичування стічних вод, дозування реагентів, їх змішування, протікання хімічних процесів знешкодження та відкачування знешкодженої стічної води. Оскільки у змішувачі-реактори повинні підтримуватись значення рН та окисно-відновного потенціалу  $E_h$  у вузькому діапазоні і дозуватись точні кількості реагентів, то ці ємкості повинні бути обладнанні датчиками вимірювання рН та окисно-відновного потенціалу  $E_h$  стічної води.

Змішувачі-реактори закриваються кришками, обладнуються витяжною вентиляцією, а також вимірювачами рівня розчинів, пристроями для запобігання переповерхненню ємкостей. Найефективнішим з точки зору відсутності контакту обслуговуючого персоналу з токсичними реагентами є застосування мобільних баків з готовими розчинами потрібної концентрації заводського приготування, які починають широко використовуватись на закордонних підприємствах (рис. 1).

Для попередження отруєння газами, що виділяються, необхідно провести герметизацію емкостей, арматури, дозуючих пристроїв. Слід влаштувати додаткову автоматичну сигналізацію для контролю небезпечних концентрацій токсичних речовин у повітряному середовищі робочих приміщень, зокрема хлору та хлорціану.

Головна увага повинна приділятися повній автоматизації процесу знешкодження стічних вод. Для цього рекомендується використання ступінчастого дозування реагентів для зміни рН та Eh у потрібному напрямку [15]. Якщо необхідне окислення домішок застосовують окисні реагенти з поступовим підвищенням Eh, якщо відновлення – відновлювальні реагенти з поступовим зниженням Eh до необхідного значення. В залежності від хімічних властивостей окисника або відновника для регулювання рН застосовують луг або кислоту.



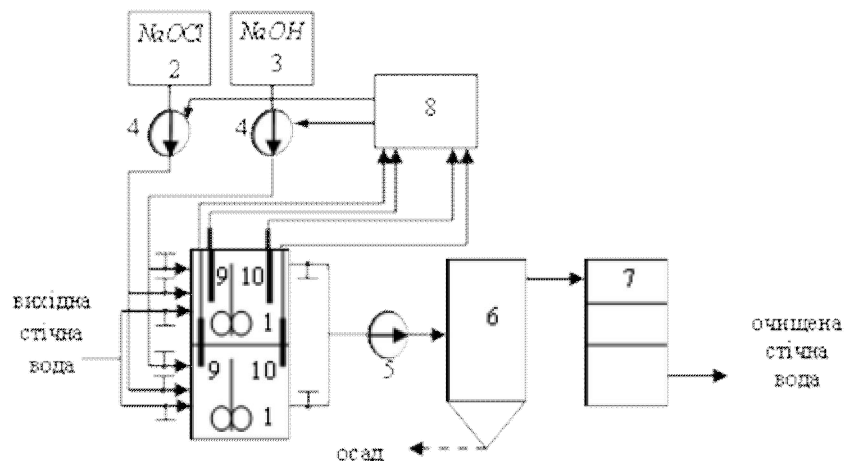
**Рис. 1. Змішувач-реактор непроточного типу та реагентні баки заводського виготовлення з насосами-дозаторами реагентів для очищення стічних вод від шестивалентного хрому підприємства «Lukas autobrzdy» (м. Яблонець над Нісою, Чехія) (власна розробка)**

Система автоматизації процесу реагентного знешкодження домішок у стічних водах включає вимірювання параметрів рН та Eh, формування керуючого сигналу для дозування у воду реагентів виконавчим механізмом, яке здійснюють на базі адаптивної системи автоматизованого регулювання з використанням регулятора на основі нечіткої логіки [16]. Далі проводять, ступінчасте дозування реагентів, на кожному ступені якого на базі промислового контролера програмно задають необхідні параметри дозування спочатку лугу (кислоти) для зміни рН до величини, оптимальної для реакції окиснення (відновлення), а потім окисника (відновника) для підвищення (зниження) величин Eh до значення, необхідного для протікання реакції окиснення (відновлення). Потім проводять перемішування води з реагентами для руйнування токсичних домішок з супутнім зниженням (збільшенням) рН та Eh. При цьому на кожному ступені дозування окисника (відновника) зміну Eh проводять до проміжних значень цієї величини з поступовим наближенням Eh до кінцевого значення, яке визначається окисно-відновним потенціалом окисника. Кожний ступінь наступного дозування лугу та окисника починають після супутнього зниження величини рН на попередньому ступені до її граничного значення, яке визначається областю хімічної стабільності окисника, що виключає утворення вторинних токсичних продуктів реакції.

Зокрема, при знешкодженні ціанідів спочатку у стічну воду дозують луг для підвищення величини рН до 10,5-10,8, після чого вводять гіпохлорит натрію для збільшення величини Eh до значень на 200-300 мВ більше, ніж вихідне значення. Після перемішування і стабілізації параметрів рН стічної води при окисненні знижується. У воду знову дозують луг для підвищення рН до 10,5-10,8, в результаті чого Eh знижується, і далі додають окисник для підвищення Eh до 400-450 мВ з подальшим додаванням лугу після стабілізації параметрів рН та Eh. Далі ступінчасте додавання реагентів проводять до підвищення величини Eh до 600-700 мВ і потрібного кінцевого значення 800-900 мВ із стабілізацію контрольних параметрів. Кількість ступенів додавання

реагентів приймають 4-5. Якщо Eh води на протязі 10-15 хвилин не знижується нижче +800-850 мВ, реакція окислення ціанідів вважається закінченою. Для гарантії окислення ціанідів після кінцевої стабілізації Eh проводиться хімічний або потенціометричний контроль наявності залишкового активного хлору, концентрація якого повинна бути не менше 2-3 мг/л. Далі оброблена стічна вода направляється у відстійник і фільтр для вилучення утвореної зависі.

Рекомендована технологічна схема очистки ціаністих стічних з автоматизованою системою дозування реагентів наведена на рис. 2.



**Рис. 2. Принципова технологічна схема знешкодження ціаністих стічних вод з регулюванням рН та Eh:**

1 – механічні непроточні реактори-змішувачі; 2 – вузол приготування розчину  $NaOCl$ ; 3 – вузол приготування розчину  $NaOH$ ; 4 – насоси-дозатори реагентів; 5 – насос; 6 – відстійник; 7 – фільтр; 8 – промисловий контролер; 9 – датчики рН; 10 – датчики Eh

Процес ступінчастого автоматичного керування процесом очищення проводиться за допомогою промислового логічного контролера (ПЛК) фірми Vipa, для якого розроблялось програмне забезпечення. ПЛК в автоматичному режимі обробляє отримані з датчиків рН і Eh дані та подає керуючий сигнал на дозування необхідної кількості реагентів до заданого значення рН і відповідних проміжних значень Eh в залежності від кількості вибраних циклів обробки води у змішувачі-реакторі. Контролер використовує ПІД-закон регулювання. Це дозволяє більш плавно та швидко регулювати рН та Eh, суттєво зменшити перерегулювання і за рахунок цього оптимізувати витрату реагенту в залежності від вихідних показників якості стічної води. Крім того, контролер керує роботою механічних мішалок, насосів для подачі вихідної та перекачки обробленої стічної води, вентилів, що переключають подачу стічної води та розчинів реагентів у змішувачі-реактори і відстійник та випускають осад.

Застосування розробленої системи автоматизованого регулювання рН та Eh в технологічній схемі знешкодження стічних вод з токсичними окисно-відновними домішками дозволяє мінімізувати кількість використаних реагентів, повністю автоматизувати процес очищення і забезпечити надійність окислення незалежно від складу стічних вод та коливань концентрацій домішок. Це надає можливість виключити прямий контакт обслуговуючого персоналу з токсичними реагентами та домішками, мінімізувати можливість утворення побічних вторинних продуктів хімічних реакцій і забезпечити необхідну безпеку експлуатації очисних споруд.

**Висновки.** Аналізуючи вище викладене, можна констатувати, що при експлуатації локальних очисних споруд для знешкодження ціаністих та хромвмісних стічних вод можливе утворення небезпечних для обслуговуючого персоналу продуктів хімічних реакцій, таких як хлорціан, газоподібний хлор, діоксид сірки, вторинний хром(VI), наявність яких потребує додаткових заходів з безпеки праці у водоочисній станції.

Для підвищення безпеки експлуатації очисних споруд, унеможливлення контакту обслуговуючого персоналу з токсичними продуктами необхідно в автоматичному режимі за допомогою промислового логічного контролера та розробленого програмного забезпечення проводити ступінчасте дозування хімічних реагентів для регулювання активної реакції рН та

окисно-відновного потенціалу Eh стічних вод із застосуванням непроточних механічних змішувачів-реакторів.

Подальшим напрямком досліджень є оцінка можливості утворення побічних токсичних продуктів під час очищення багатоконпонентних металовмісних стічних вод від виробництва друкованих плат і розробка відповідних заходів з безпеки праці при експлуатації очисних споруд.

1. Безак-Мазур, Е. Транскордонні проблеми токсикології довкілля [Текст] / Е. Безак-Мазур, Т. Шендрік. - Донецьк : ГП "Інформ.-аналитический центр "Донбассинформ" 2008, - 300с.
2. Коломоець М.Ю. Професійні хвороби / М.Ю. Коломоець, О.С. Хухліна. – К.: Здоров'я, 2004. – 628 с.
3. Fenglian F. Removal of heavy metal ions from wastewaters. / F. Fenglian, Q. Wang. // Journal of Environmental Management, Volume 92, Issue 3, 2011, P. 407-418
4. Maly J. Cistení průmyslových odpadních vod / J. Maly, P. Hlavinec. – Brno: NOEL 2000, 1996. – 255 s.
5. Kim C. Cr6+ reduction by hydrogen sulfide in aqueous media: stoichiometry and kinetics / C. Kim, Q. H. Zhou, B. L. Deng // Environ. Sci. Technol., 2001.- 35. - P. 2219–2225.
6. Вредные химические вещества / Под общей ред. В.А. Филова. – Л.: Химия, 1990. – 734 с.
7. Общая токсикология / под ред. Б. А. Курляндского. – М.: Медицина, 2002. – 614 с.
8. Проскураков В.А. Очистка сточных вод в химической промышленности / В. А. Проскураков, Л. И. Шмидт. – Л. : Химия, 1977. – 464 с.
9. НПАОП 73.1-1.11-12 Правила охорони праці під час роботи в хімічних лабораторіях / наказ Міністерства надзвичайних ситуацій України від 11.09.2012 № 1192.
10. НПАОП 28.51-1.16-85 Правила з техніки безпеки при травленні металів і нанесенні на них гальванічних і хімічних покриттів. – М.: Міноборонпром СРСР, 1985.
11. НПАОП 0.00-8.11-12 Вимоги до роботодавців щодо захисту працівників від шкідливого впливу хімічних речовин / наказ Міністерства надзвичайних ситуацій України від 22.03.2012, № 627.
12. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування. – Київ, Мінрегіон України, 2013. – 141 с.
13. Филипчук Л. В. Автоматизація процесу регулювання рН та Eh при очищенні металовмісних стічних вод в оборотних системах водопостачання підприємств / Филипчук Л. В. // Вісник Інженерної академії України. – Київ, 2013. – Вип. 1, 2013. – С. 204-208.
14. Клепач М. І. Застосування нечіткої логіки для автоматизації процесу регулювання рН стічних вод в гідравлічному змішувачі-реакторі / М. І. Клепач, Л. В. Филипчук // Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси ПРТК-2012: 5 міжнародна науково-практична конференція, 15-16 травня 2012 р. – Київ : НАУ. – С. 274-275.