

Scientific and technical journal «Technogenic and Ecological Safety»

RESEARCH ARTICLE
OPEN ACCESS

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ МОНІТОРИНГУ ВИКИДІВ ХЛОРУ В АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ ПРИ ЗНЕЗАРАЖЕННІ СТИЧНИХ ВОД НА МІСЬКИХ ОЧИСНИХ СПОРУДАХ

І. В. Плотников¹, О. М. Кондратенко², Г. М. Колоскова³, В. Ю. Колосков²¹ТОВ «Телеком Комплекс», Харків, Україна²Національний університет цивільного захисту України, Черкаси, Україна³Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна

УДК 621.3.07:628.3

DOI: 10.52363/2522-1892.2025.1.6

Отримано: 07 березня 2025

Прийнято: 24 квітня 2025

Cite as: Plotnikov I., Kondratenko O., Koloskova H., Koloskov V. (2025). Development of technology for monitoring chlorine emissions into the atmosphere during disinfection of wastewater at municipal wastewater treatment plants. Technogenic and ecological safety, 17(1/2025), 54–66. doi: 10.52363/2522-1892.2025.1.6

Анотація

Розроблено технологію автоматизації моніторингу стану техногенно-екологічної безпеки на міських очисних спорудах, як виконавчий орган технології захисту навколишнього природного середовища. Розроблено нову автоматизовану систему моніторингу контролю викидів хлору в атмосферне повітря і вдосконалено технологію оцінки стану техногенно-екологічної безпеки очисних споруд. В основу процесу виявлення викидів хлору, покладено окрему автоматизовану підсистему газового аналізу, що являє собою надбудову над системами технологічної автоматизації.

Розробка автоматизованої системи моніторингу передбачає використання сучасних електронно-обчислювальних приладів та спеціалізованого програмного забезпечення для вирішення покладених на неї функцій. Топологія розміщення вимірювальних перетворювачів системи газового аналізу розроблена, виходячи із технологічних карт протікання процесу знезараження із врахуванням складу, місця розміщення та характеристик основного технологічного устаткування.

Використання в проєктованій автоматизованій системі моніторингу технології контролю метеопараметрів, дозволяє завчасно розробити управлінські рішення щодо недопущення розповсюдження хмари хімічного зараження на значну територію, а технологія прогнозування розповсюдження зараження в режимі реального часу інформує оперативно-черговий персонал об'єкту про можливі наслідки розвитку ситуації.

Враховуючи відсутність екологічного моніторингу стану атмосферного повітря на міських очисних спорудах, впровадження автоматизованої системи моніторингу дозволить контролювати один з наднебезпечних чинників виробничого процесу очищення стічних вод, що становить екологічну небезпеку не тільки для атмосферного повітря, але й для навколишнього природного середовища в цілому.

Розроблена технологія захисту навколишнього середовища через використання уніфікованих пристроїв та протоколів має високий коефіцієнт взаємозамінності складових та не висуває додаткових вимог до устаткування, що робить її більш адаптивною.

Ключові слова: технології захисту, навколишнє природне середовище, знезараження стічних вод, пари хлору, прогнозування розповсюдження забруднення, автоматизована система моніторингу.

Вступ

Екологічна ситуація в нашій країні залежить від впливу як природних так і техногенних чинників. Визначення еколого-техногенних проблем в цілому, включаючи екологічні проблеми техногенного походження, що потребують першочергового реагування, є завданням з обґрунтування прийняття управлінських рішень в сфері забезпечення техногенно-екологічної безпеки (ТЕБ). Екологічні проблеми в частині їх класифікації містять як галузевий, так і територіальний аспект. Критерієм екологічних загроз в системі державного управління можуть бути такі індикатори як: втрата людського життя та здоров'я; економічні збитки; втрати відновлювальних і невідновлювальних природних ресурсів країни.

Важливим індикатором екологічних проблем техногенного походження є надзвичайні ситуації, що сталися, а також ризик потенціальних надзвичайних ситуацій техногенного походження.

Відповідно до аналітичної записки до проєкту наказу Міністерства внутрішніх справ України «Про затвердження Методики прогнозування наслідків виливу (викиду) небезпечних хімічних речовин

під час аварії на хімічно небезпечних об'єктах і транспорті» [1], до основних чинників хімічної небезпеки в Україні належать понад 600 хімічно небезпечних об'єктів, на яких зберігається або використовується у виробничій діяльності понад 200 тис. тон небезпечних хімічних речовин. У зонах можливого хімічного забруднення навколо хімічно-небезпечних об'єктів проживає майже 7 мільйонів осіб.

Водночас багато хімічно-небезпечних підприємств критично необхідні для ефективного функціонування соціально-економічних процесів в нашій державі. Особливе значення в умовах густонаселених агломерацій мегаполісів України відіграють споруди очищення міських стічних вод. Щоденні обсяги стічних вод у каналізацію великих міст потребують функціонування потужних комплексів водоочищення, які б забезпечували нормативні показники стічних вод, що скидаються в природні водойми. Очисні споруди водовідведення працюють як окремі відкриті техноекосистеми, які на вході споживають ресурси і енергію, а на виході створюють продукт і відходи.

Постановка проблеми

На сьогодні в нашій державі налічується понад 300 спеціалізованих підприємств, що надають послуги водопостачання чи каналізації стічних вод. Крім вказаних, функціонує також близько 700 неспеціалізованих підприємств, що надають вказані послуги [2].

Впровадження сучасного досвіду та досягнень технічного прогресу дозволяють використовувати безпечніші за хлорування технології незбереження

стічних вод, такі як: озонування води, використання гіпохлориду натрію та калію, тощо [3–6].

Міські стічні води являють собою суміш різних категорій стічних вод (господарсько-побутових, виробничих, атмосферних), яка надходить для очищення на міські каналізаційні очисні станції [7]. В загальному вигляді процес обігу стічних вод при їх очищенні на міських очисних спорудах водовідведення (МОСВ) наведено на рис. 1.

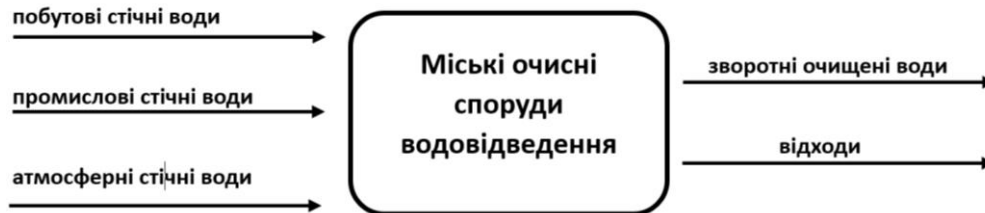


Рисунок 1 – Загальний вид моделі обігу стічних вод при очищенні

МОСВ являють собою комплекс споруд, що поєднані складним багаторівневим технологічним процесом (ТП). В роботі розглядається окрема самостійна ланка загального ТП очищення стічних вод, а саме: технологія знезараження міських стічних вод.

Згідно з законодавством України [8], проектування та впровадження автоматизованої системи моніторингу (АСМ) стану ТЕБ на МОСВ може здійснюватися при новому будівництві об'єкту оснащення, при його реконструкції або під час капітального ремонту. Впровадження розробленої технології моніторингу стану ТЕБ МОСВ відбувається в рамках створення відповідної АСМ шляхом виконання встановленого переліку обов'язкових етапів [9].

Процес моніторингу стану ТЕБ являю собою комплексну систему спостережень, збору, обробки, систематизації та аналізу інформації про стан навколишнього природного середовища (НПС), метою якої є оцінка і прогноз його зміни, а також розробка обґрунтованих рекомендацій для прийняття управлінських рішень [10].

В свою чергу, моніторинг стану атмосферного повітря є частиною загального процесу екологічного моніторингу та має на меті виявлення в атмосферному повітрі шкідливих для НПС речовин із наступними систематизацією та аналізом інформації про стан атмосферного повітря, прогнозом його змін та розробкою обґрунтованих рекомендацій для прийняття управлінських рішень за результатами проведених спостережень.

До основних завдань [11] проведення моніторингу стану атмосферного повітря належать:

- організація єдиної державної системи контролю за складовими природного середовища;
- налагодження автоматизованої системи збору, обробки, узагальнення і зберігання інформації про кількість і стан природних ресурсів (банк даних);
- інвентаризація джерел забруднення і вивчення ступеня антропогенного впливу на компоненти НПС;

– моделювання і прогнозування змін екологічної ситуації та рівня здоров'я НПС;

– розробка управлінських рішень, спрямованих на забезпечення раціонального природо-користування і сталий розвиток регіону.

Автоматизація процесу моніторингу стану атмосферного повітря є окремою задачею, що вирішується при розробці системи екологічного моніторингу шляхом створення окремої автоматизованої системи управління [12].

Автоматизована система являє собою організаційно-технічну систему, що об'єднує обчислювальну систему, фізичне середовище, персонал і оброблювану інформацію. Вимоги до функціонального складу комплексів засобів захисту залежать від характеристик оброблюваної інформації, самої обчислювальної системи, фізичного середовища, персоналу і організаційної підсистеми.

Автоматизація системи відбувається за трьома напрямками:

1) розроблення методів вивчення закономірностей об'єктів керування і розроблення ефективних алгоритмів керування;

2) визначення доцільності автоматизації системи в цілому або її частин;

3) створення необхідних технічних засобів.

Спільною властивістю автоматизованих систем будь-якого призначення є необхідність обробки великих масивів даних: уведення, виведення, запам'ятовування, аналізування тощо. Ефективність дії автоматизованої системи в цілому часто залежить від ефективності виконання цих функцій. Це привело до створення спеціалізованих автоматизованих систем — автоматизованих інформаційних систем (АІС), мета яких полягає в оптимізації оброблення цифрових даних незалежно від джерела їх походження. Визначальною рисою АІС є їхня гнучкість, тобто можливість обробляти різні за походженням дані в стандартизованому технологічному засобі, змінюючи лише алгоритм оброблення даних [12].

Для проведення аналізу наявних засобів забезпечення нормативно встановленого рівня екологічної безпеки процесу знезараження стічних вод необхідно визначити, які саме нормативні значення забезпечуються наявними на об'єкті системами безпеки.

Оскільки система забезпечення ТЕБ, яка розробляється для МОСВ, є системою автоматизації або автоматизованою системою, аналіз існуючих систем забезпечення нормативного стану екологічної безпеки проводиться в розрізі рівня автоматизованості існуючих систем екологічної безпеки. Для систематизації результатів аналізу на першому етапі, необхідно розділити існуючі системи безпеки об'єкту на наступні основні підгрупи:

- автоматизовані системи забезпечення ТЕБ;
- окремі автоматичні засоби забезпечення ТЕБ, не поєднані єдиною системою управління;
- неавтоматизовані системи забезпечення ТЕБ;
- окремі елементи неавтоматизованих систем.

Окремо слід зазначити, що за цільовим призначенням окреслені групи систем не є безпосередньо системами забезпечення ТЕБ. Маючи різне цільове призначення, ці системи серед переліку виконуваних функцій у тому числі виконують й контроль показників, що характеризують певні аспекти ТЕБ процесу знезараження стічних вод.

Першу групу систем складають автоматизовані системи забезпечення ТЕБ. До цих систем в цеху знезараження стічних вод на МОСВ в першу чергу відносяться автоматизовані системи керування ТП. Ці системи являють собою сукупність електронно-вимірювальних технічних засобів, поєднаних в єдину інформаційно-обчислювальну систему, метою функціонування яких є контроль за нормативно встановленими параметрами роботи основного технологічного устаткування. До контрольованих такими системами параметрів відносяться дані про рівень, тиск та температуру вузлів агрегатів та установок, задіяних при зберіганні, дозуванні та змішуванні хлору, що використовується для знезараження стічних вод. Сфера відповідальності таких систем – контроль нормального протікання технології хлорування води, контроль за виконанням технологічних карт та вимог безпеки до основного технологічного устаткування. Оскільки нормальне протікання ТП знезараження стічних вод гарантує відсутність аварій та надзвичайних ситуацій, для стану ТЕБ є суттєво важливим забезпечення протікання основного ТП в межах встановлених технологічними регламентами нормативних показників такого процесу. По суті, автоматизовані системи контролю ТП не є системами, що призначені для цілей контролю саме показників впливу на НПС.

Друга група – це окремі автоматизовані засоби вимірювання та контролю, що працюють автономно, без поєднання в систему, однак при цьому, як і складові першої групи, обслуговують основний ТП знезараження стічних вод. До таких елементів належать: електронні ваги, на яких зважуються

балони з хлором при дозуванні; датчики температури складських приміщень; аналізатори; витратоміри тощо. Всі ці технічні елементи також використовуються черговим персоналом об'єкту для дотримання вимог безпеки технологічного процесу. Не будучи поєднаними в систему автоматики, ці технічні засоби розташовані в місцях їх використання (склад хлору, приміщення хлордозаторної тощо) та окрім основних функцій сприяють досягненню ефекту нормативного перебігу основного ТП, що дає змогу уникнути аварій на технологічному устаткуванні та унеможливити викиди в атмосферу значної кількості хлору.

Неавтоматизовані системи забезпечення ТЕБ – це, перш за все, системи аналізу лабораторних проб води до та після її знезараження. Ці системи напряму слугують дотриманню нормативного стану ТЕБ об'єкту. Неавтоматизованими ці системи є через те, що більшість операцій виконується вручну, а управління такими системами реалізується виключно людиною без застосування автоматизованих алгоритмів чи автоматичних виконавчих механізмів. Згідно технологічних карт очищені стічні води аналізуються на кількість патогенних бактерій до хлорування та після – перед скиданням в природню водойму. Відбір проб здійснюється вручну, потім відібрані проби доставляються до лабораторій, де на спеціалізованому обладнанні виконуються необхідні аналітичні дослідження. При використанні таких систем отримати інформацію про якісні показники очищуваних вод в режимі реального часу неможливо. Заміри робляться дискретно в певні проміжки часу. Таким чином, ці системи забезпечують дотримання вимог до очищених стічних вод, що повертаються у природні водойми [13], проте не дають інформацію в реальному часі про випаровування хлору у атмосферне повітря, наявність витоків хлору з технологічного устаткування тощо.

Остання група – окремі елементи неавтоматизованих систем. Являють собою групу неелектронних технічних елементів, що надають інформацію про деякі параметри ТП знезараження стічних вод, проте не є поєднаними в будь-яку систему управління. Вказані засоби працюють автономно, надаючи, переважно, інформацію довідкового характеру. До таких технічних засобів відносяться анемометри-рубоміри, термометри, психометри, механічні показники рівня води у технологічних резервуарах тощо. Дані від таких елементів можуть бути використані для визначення напряму розповсюдження хімічної хмари, сформованої випаровуванням хлору, для визначення ступеня випаровування очищуваних вод тощо. В частині забезпечення ТЕБ інформація від таких приладів використовується для проведення розрахунків при оцінці негативного впливу на НПС при протіканні основного ТП.

При протіканні ТП знезараження міських стічних вод викиди хлору в атмосферне повітря можуть виникати з двох основних причин, а саме: при

порушенні нормального перебігу технологічного процесу або в наслідок надзвичайних ситуацій (аварій, пожеж тощо). Внаслідок цього окрім технологічних систем, які беруть участь у забезпеченні певних аспектів ТЕБ, на об'єкті функціонують також і загальні системи безпеки. До таких систем відносять: системи пожежної сигналізації; системи контролю доступу та відеоспостереження; системи пожежогасіння; системи передачі даних та зв'язку. Ці системи під час виконання своїх основних функцій можуть бути використані для цілей забезпечення ТЕБ. На відміну від систем виробничої автоматики ці системи працюють в аварійному режимі функціонування технологічного устаткування, коли негативний вплив на НПС є набагато більшим за наявний при нормальних умовах протікання ТП. Вказані системи, як правило, задіяні при локалізації та ліквідації негативних наслідків для НПС, спричинених аваріями.

За результатами проведеного аналізу наявних на МОСВ систем забезпечення нормативних значень ТЕБ при протіканні ТП знезараження стічних вод, можна зробити наступні висновки.

1. Для забезпечення нормативного протікання ТП знезараження стічних вод на МОСВ є в наявності достатня кількість як окремих технічних елементів, так і систем автоматизації в цілому.

2. Існуючі системи автоматизації не є по своїй суті системами забезпечення ТЕБ, а являють собою системи, що забезпечують основний ТП та якість кінцевого продукту.

3. На МОСВ існують неавтоматизовані системи контролю якості очищених стічних вод, що скидаються в природні водойми після їх знезараження. Існування таких систем забезпечує відповідність якісних показників очищених вод до нормативів ТЕБ.

4. Автоматизованих систем контролю атмосферного повітря при протіканні ТП знезараження стічних вод на МОСВ немає.

Додатково слід зазначити, що за межами МОСВ в межах існування міської системи контролю якості атмосферного повітря функціонують пости спостереження, які аналізують склад атмосферного повітря в місцях можливого забруднення, зокрема, у зоні можливих викидів від МОСВ. Кількість, місця встановлення та принцип роботи таких постів не можуть забезпечити належний стан ТЕБ на МОСВ. Дані таких постів можуть бути використані в якості додаткових або перевірочних джерел інформації про якість атмосферного повітря навколо МОСВ, проте контролю якості атмосферного повітря на території МОСВ або цеху знезараження стічних вод вони не здійснюють та не враховують особливості схеми основного ТП знезараження стічних вод, що протікає на МОСВ.

Пропонована в роботі технологія автоматизації моніторингу стану ТЕБ на МОСВ обумовлена аналізом чинників, що являють техногенно-екологічну загрозу при протіканні ТП знезараження міських стічних вод.

Являючи собою шкідливу для НПС хімічну речовину, хлор, що використовується в ТП знезараження, має властивість випаровуватись при використанні в ТП як при нормальному його перебігу, так і у випадках, коли один чи декілька нормативно встановлених показників протікання ТП знезараження стічних вод порушується.

Виходячи із даних протікання ТП знезараження, існує потреба в безперервному контролі наявності парів хлору в повітрі робочої зони як в середині технологічної установки хлорування, так і в атмосферному повітрі на території МОСВ та за її межами.

Вимірювання наявності парів хлору в повітрі є необхідним для впровадження відповідних аспектів екологічного менеджменту на МОСВ, що ставить на меті зведення до мінімуму негативного впливу протікання ТП знезараження міських стічних вод на екосистему регіону розташування МОСВ. Запропонована технологія моніторингу є окремою системою, що встановлюється в місцях можливих викидів парів хлору в атмосферне повітря. Місця розташування технічних елементів АСМ залежать від характеру та схеми основного ТП та визначаються окремо для кожного технологічного вузла чи операції.

На сьогодні, на МОСВ відсутні системи, які б здійснювали автоматизований моніторинг за станом атмосферного повітря як на території МОСВ так і за її межами. Найближчими аналогами АСМ стану ТЕБ на МОСВ є автоматизовані системи контролю стану атмосферного повітря, що використовують для оцінки якості повітря електрохімічний або оптичний методи (оскільки саме ці методи газового аналізу підходять для «польових» вимірювань).

Сучасний стан розвитку вимірювальної техніки та інформаційно-обчислювальних систем дав можливість широкого розвитку АСМ стану атмосферного повітря.

Виходячи з цілей проведення моніторингу та цільової категорії користувачів інформації, АСМ стану атмосферного повітря можна поділити на декілька груп:

- загальнодержавні АСМ;
- регіональні АСМ;
- спеціалізовані АСМ.

В нашій країні, за підтримки Міністерства цифрової трансформації України, розроблено офіційний ресурс Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України «ЕкоЗагроза» [14].

«ЕкоЗагроза» являє собою офіційний ресурс для автоматичного збору та фіксації інформації про екологічні загрози в режимі реального часу з географічною прив'язкою до місцевості. Система має веб-інтерфейс та програмний додаток для використання на мобільних пристроях. На етапі обробки інформації з мобільного додатку «ЕкоЗагроза» або веб-версії системи виконується автоматичний розрахунок впливу на НПС, параметри та категорії якого постійно оновлюються та розширюються. Після обробки інформації системою формуються відповідні розділи дашбордів

для інформування населення про стан НПС, офіційні застереження та вказівки від Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України та показники ліквідації наслідків загроз в режимі реального часу. Система також передбачає визначення відповідального органу виконавчої влади за усунення наслідків екологічних загроз та відслідковування даного процесу у режимі реального часу [14].

На регіональному рівні найповнішу АСМ стану атмосферного повітря має Український гідрометеорологічний центр Державної служби України з надзвичайних ситуацій (ДСНС) [15]. Веб-версія АСМ доступна для кожного регіону України за окремими посиланнями. Для користувачів ресурс надає інформацію про метеорологічні показники атмосферного повітря (температура, вологість, напрям вітру) та про рівень забруднення атмосферного повітря. Користувачу доступні аналітичні довідки (щоденні або щомісячні) щодо абсолютних та відносних показників забруднення атмосферного повітря в розрізі адміністративно-територіальних одиниць. Також користувачам доступні попередження ДСНС про надзвичайні ситуації, у тому числі пов'язані із забрудненням атмосферного повітря.

Широка діяльність міжнародних фондів та громадських організацій в рамках європейських програм захисту НПС зробила можливим створення та функціонування на території нашої країни спеціалізованих АСМ моніторингу стану атмосферного повітря. В рамках проекту «SaveEcoBot» функціонує система, яка поєднує дані про поточний стан НПС, про забруднення, види забруднювачів та інструменти захисту НПС [16].

Доступна користувачу веб-версія дозволяє отримати наступну інформацію:

- детальну інформацію про стан радіаційного фону в областях та населених пунктах;
- карту якості повітря з вказаними напрямком та швидкістю вітру;
- інформацію про якість повітря з кожного поста моніторингу та дані по населених пунктах;
- іншу екологічну та адміністративну інформацію.

З точки зору методів організації спостережень перелічені системи мають спільні конструктивні ознаки, а саме:

- спостереження за станом атмосферного повітря проводяться за допомогою постів спостереження, розташованих відповідно певних критеріїв (наближення до міст/потенційних викидів, виходячи із рельєфу місцевості, виходячи із методики вимірювань на одиницю площі тощо);
- отримані результати проходять обробку та порівняння з нормативними значеннями вимірюваних параметрів;
- метою проведення вимірювань є інформування користувача про стан екологічної безпеки певної місцевості;
- дані вимірювань систематизуються та зберігаються з метою формування звітів.

Головною відмінністю між вказаними вище системами є різна цільова група користувачів, що впливає на зміст інформації та функціональні особливості, що надаються користувачу.

З точки зору принципу функціонування всі перелічені системи відповідають єдиній структурі побудови АСМ, що зображена на рис. 2.

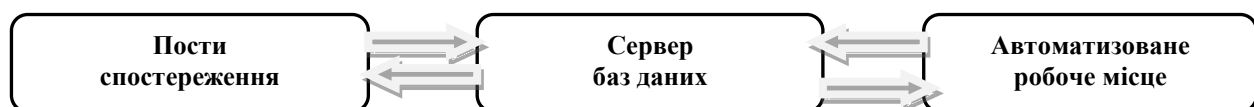


Рисунок 2 – Структурна схема АСМ

Мета та задачі дослідження

Метою дослідження є підвищення рівня техногенно-екологічної безпеки міських очисних споруд водовідведення шляхом створення технології захисту навколишнього середовища, зокрема технології автоматизації процесу моніторингу стану техногенно-екологічної безпеки міських очисних споруд водовідведення.

Для досягнення мети було вирішено **наступні задачі**.

1. Розробка технологічного процесу автоматизації процесу моніторингу стану техногенно-екологічної безпеки міських очисних споруд водовідведення.

2. Проектування інформаційно-обчислювальної системи для автоматизації процесу моніторингу стану техногенно-екологічної безпеки міських очисних споруд водовідведення при протіканні технології знезараження міських стічних вод.

Матеріали і методи

Основою для розробки АСМ стану ТЕБ є дослідження роботи основного технологічного устаткування [17]. Оскільки хлор доставляється та зберігається на МОСВ у балонах під тиском та використовується в герметичних апаратах та трубопроводах, основним джерелом можливих викидів хлору у атмосферу є основне технологічне устаткування. При цьому режими роботи основного технологічного устаткування визначають ті місця, де найвірогідніше можуть виникнути викиди хлору або його парів, та тим самим зумовлюють особливості архітектури АСМ.

АСМ стану ТЕБ на МОСВ являє собою автоматизовану систему контролю (АСК) класу «людина-машина», у якій суміщено автоматичні процеси виявлення викиду хлору у атмосферне повітря, оперативне надання користувачу фактичної та прогнозованої інформації щодо поточного вмісту

парів хлору в атмосферному повітрі, а також, за потреби, прогнозу щодо часу та масштабу розповсюдження сформованої хімічної хмари за межі МОСВ.

Специфікою технологічної схеми процесу автоматизації моніторингу за станом ТЕБ на МОСВ є те, що елементами цієї технології є електронні та електронно-обчислювальні прилади, що технологічно поєднані в єдину АСМ масивами даних, що передаються від одного електронного приладу до іншого. Саме організація процесу обміну даними формує ядро АСМ, поєднуючи окремі елементи в систему, що слугує заданій меті.

Враховуючи те, що ТП знезараження стічних вод протікає в технологічному устаткуванні, що регулюється сучасними засобами автоматизації та управління, основний ефект від впровадження АСМ стану ТЕБ на МОСВ досягається шляхом своєчасного та повного інформування оператора пункту управління ТП про наявність відхилень в нормальному перебігу такого процесу. Внаслідок отримання відповідної інформації оперативним персоналом МОСВ можуть бути застосовані заходи щодо повернення технологічного устаткування до нормальної роботи, або ж щодо зупинки ТП до моменту усунення відхилень від нормативного стану. Таким чином, позитивний ефект досягається шляхом недопущення викидів хлору у атмосферне повітря за межами МОСВ та уникнення негативних наслідків для НПС. У випадку неможливості уникнути викиду хлору в атмосферне повітря АСМ дає можливість проведення оперативних розрахунків в режимі реального часу щодо часу та площі розповсюдження хімічно-небезпечної хмари за територією МОСВ, що дає можливість розробити заходи по локалізації та ліквідації наслідків такого

викиду. Додатковим позитивним ефектом впровадження АСМ є контроль якості протікання процесу знезараження стічних вод шляхом спостереження наявності відхилень в протіканні основного ТП та роботі основного устаткування.

На рис. 3 наведено схематичне зображення технологічної схеми АСМ стану ТЕБ на МОСВ.

В основу розробки АСМ стану ТЕБ на МОСВ покладено перебіг основного ТП знезараження міських стічних вод, а саме:

- дані про місця зберігання хлору;
- дані про технологічне устаткування, що використовує у своїй роботі хлор;
- дані генплану об'єкта, в частині огорожі його периметру.

Згідно існуючої класифікації [18] технологія автоматизації процесу моніторингу викидів хлору в атмосферне повітря відноситься до геохімічного моніторингу та розробляється за наступним алгоритмом.

1. Визначення технологічного устаткування, що використовує у своїй роботі хлор.
2. Визначення місць зберігання хлору для використання в технологічному процесі хлорування води.
3. Визначення гранично-допустимих концентрацій хлору у повітрі, що свідчать про порушення ТП використання та зберігання хлору.
4. Визначення технічних засобів вимірювання рівня загазованості.
5. Визначення місць встановлення технічних засобів вимірювання.
6. Визначення технічних засобів автоматизації управління та алгоритму обміну інформацією про стан загазованості.

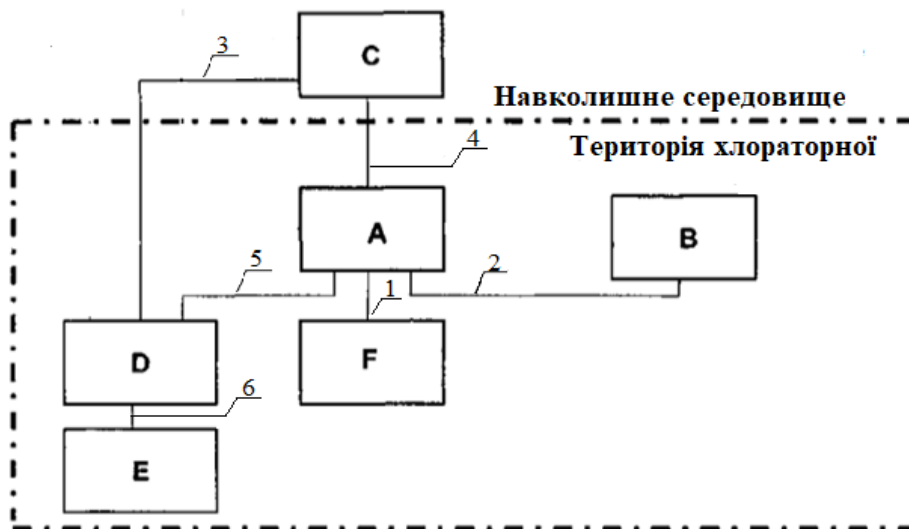


Рисунок 3 – Технологічна схема процесу автоматизації моніторингу викидів хлору в атмосферне повітря на МОСВ:

Об'єкти: А – контролер керування; В – автоматична метеостанція; С – пости вимірювання рівня загазованості по периметру огорожі; D – контролер першого рівня системи вимірювання рівня загазованості;

Е – вимірювальні перетворювачі газоаналізаторів; F – системи контролю технологічних параметрів автоматизованої системи контролю ТП. Масиви даних: 1 – дані від систем контролю загазованості автоматизованої системи контролю ТП; 2 – метеодані; 3,6 – дані про рівні загазованості; 4 – дані для розрахунку зони розповсюдження хімічної хмари; 5 – агреговані дані вимірювачів загазованості

Отже, з точки зору будови АСМ стану ТЕБ на МОСВ являє собою сукупність вимірювальних пристроїв, що в режимі реального часу аналізують стан атмосферного повітря в приміщеннях розташування основного технологічного обладнання знезараження стічних вод та передають отримані значення в систему контролю за допомогою виділених каналів зв'язку. Система контролю, що ієрархічно складається із контролерів першого та другого рівнів, безперервно аналізує отримані дані та формує висновок про наявність або відсутність в

атмосферному повітрі вмісту парів хлору. Паралельно АСМ отримує в режимі реального часу дані від метеорологічного посту та, за умови наявності парів хлору в атмосферному повітрі, автоматично робить графічне моделювання можливої зони розповсюдження хімічної хмари із прив'язкою до мапи. Управління системою здійснюється людиною-оператором за допомогою автоматизованого робочого місця.

Загальна ієрархічна модель АСМ наведена на рис. 4.

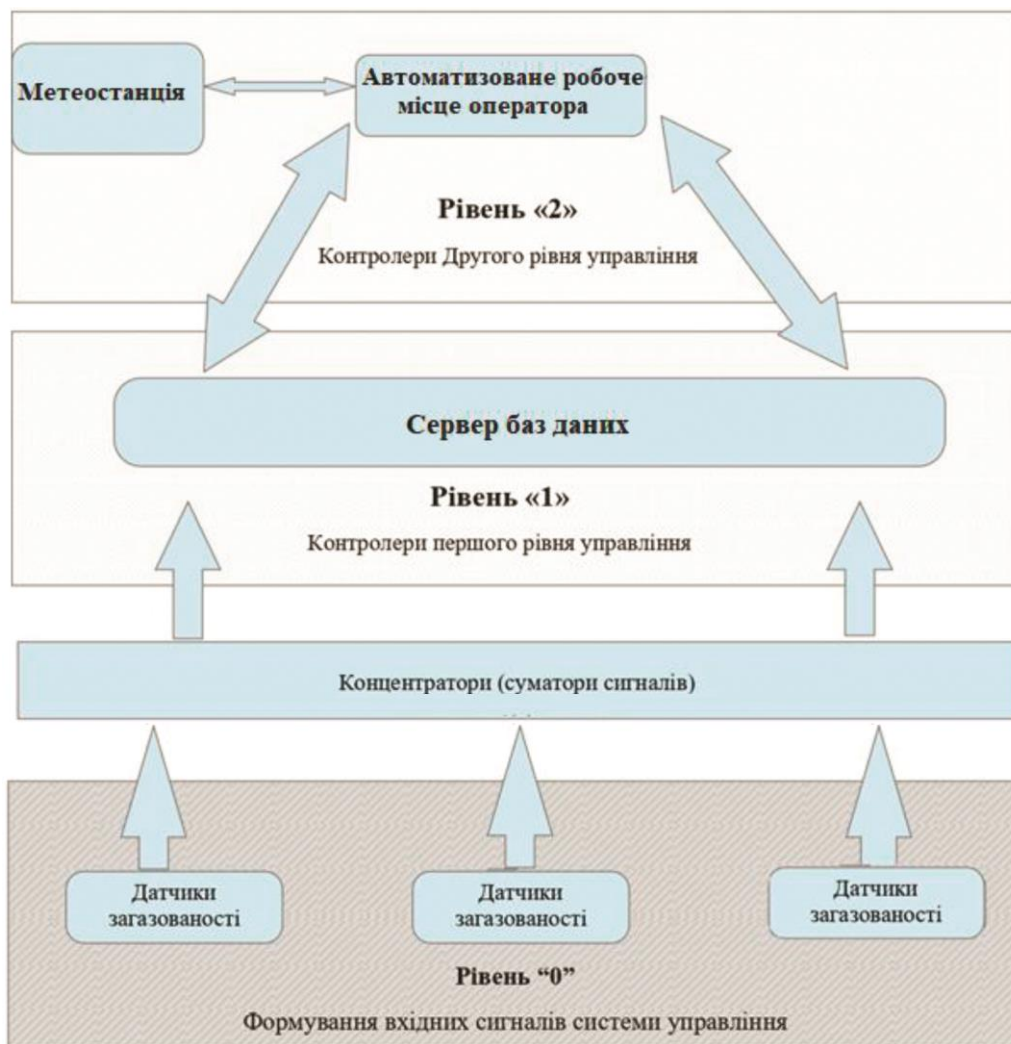


Рисунок 4 – Ієрархічна модель процесу автоматизації моніторингу викидів хлору в атмосферне повітря на МОСВ

На нульовому (найнижчому) рівні на схемі ієрархічної моделі АСМ розташовані джерела первинної інформації. До таких джерел відносяться, перш за все, вимірювальні перетворювачі стаціонарно встановлених датчиків-аналізаторів атмосферного повітря на предмет наявності в них молекул хлору. Такі датчики розташовуються в місцях розташування елементів основного ТП знезараження стічних вод, в яких можливий викид будь-якої кількості хлору. Такими місцями можуть бути фланцеві з'єднання технологічних

трубопроводів, місця примикання кришок, люків, засувок технологічного устаткування, місця приймання та завантаження хлору до технологічного устаткування, відкриті дільниці басейнів знезараження тощо.

Розташування вимірювальних перетворювачів здійснюється секторально – від центру до межі сектору. При цьому вся технологічна дільниця хлорування та територія МОСВ умовно поділяються на сектори, що відображають рух зони забруднення від центру (джерело викиду) до крайньої межі

(територія в середині та ззовні цеху знезараження стічних вод). Отже початковою точкою розташування вимірювачів наявності хлору у атмосферному повітрі є дільниці розташування основного технологічного устаткування, приміщення приймання, зберігання та відвантаження балонів з хлором. Далі, рухаючись до крайніх меж умовного сектору, такі вимірювачі розташовуються ззовні будівель цеху знезараження та на території МОСВ. Інформація, отримана від цих груп датчиків, свідчить про наявність або відсутність в атмосферному повітрі кількості парів хлору, достатньої для формування хімічної хмари, що являє собою небезпеку для НПС.

Остання група датчиків розташовується по зовнішньому периметрі МОСВ. Інформація отримана від останньої групи датчиків, з одного боку, підтверджує дані про викиди значної кількості хлору у атмосферне повітря, а з іншої – вказує вектор руху сформованої хімічної хмари. В загальну систему обміну даними значення показів всіх вимірювачів надходять в єдиному масиві даних із деталізацією адреси такого датчика. Дані від всіх датчиків йдуть з однаковим пріоритетом, оскільки важливим є не місце встановлення датчика, а різниця показів між датчиками, встановленими на різних границях умовного сектору. Саме зростання даних про концентрації дає змогу вирахувати орієнтовну кількість хлору, що потрапив в атмосферне повітря, та виконати моделювання напрямку руху хмари хімічного забруднення.

Датчики-газоаналізатори працюють у автоматичному режимі та оновлюють дані в режимі реального часу, інформуючи про абсолютні та відносні показники концентрації хлору у атмосферному повітрі в межах вимірювання кожного з таких датчиків. Інформація з кожного датчика надходить по виділених каналах зв'язку окремо на концентратори або суматори сигналів. Суматори приймають значення від групи датчиків, що під'єднані до них, виходячи з топології розташування, поєднують ці сигнали у єдиний масив даних, трансформуючи їх в цифровий вигляд та передають на перший ієрархічний рівень системи управління. Разом із інформацією стосовно вимірюваних параметрів концентратори збирають дані про відмови в роботі (за наявності) кожного вимірювального перетворювача та, разом із основним пакетом даних, передають цю інформацію також на перший рівень АСМ.

На першому ієрархічному рівні АСМ розташований сервер баз даних. Сервер баз даних виконує функції управління АСМ. Він приймає дані про стан вимірювачів та концентрацію хлору у повітрі у відповідності до топології розміщення датчиків, перевіряє їх на відповідність встановленим нормативним показникам та у випадку наявних відхилень формує попередження оператору системи. Окрім управління оперативними процесами сервер баз даних забезпечує зберігання отриманої інформації, формування архіву подій та даних за запитами оператора системи. Головною функцією

серверу баз даних є проведення обчислювальних операцій з даними, забезпечуючи їх зберігання, обробку та систематизацію.

Другий ієрархічний рівень АСМ можна також назвати рівнем користувачів. На другому рівні системи розташоване автоматизоване робоче місце оператора АСМ. Саме автоматизоване робоче місце оператора забезпечує головний зв'язок системи управління АСМ, а саме зв'язок «людина–машина». Оскільки система є автоматизованою, фінальну функцію управління виконує людина. Висвітлена інформація про стан вимірюваних параметрів, а також сервісні повідомлення серверу баз даних потребують інтерпретації. Оператор системи повинен знати як перебіг основного ТП, так і хімічні властивості вимірюваних величин, розуміти який негативний вплив вимірювані параметри чинять на НПС, знати нормативні показники досліджуваних явищ. У зв'язку з вищевказаним, до управління системою мають бути допущені працівники, що мають кваліфікацію за фахом «Технології захисту навколишнього середовища». В свою чергу, автоматизоване робоче місце забезпечує оператора структурованою та повною інформацією про стан вимірюваних параметрів, місця розташування газоаналізаторів та конкретні значення вимірюваних величин в реальному режимі часу.

Також на найвищому рівні управління розташована автоматична метеостанція, дані якої використовуються для прогнозування розповсюдження хімічного зараження на територію за межами МОСВ.

Отже, в якості об'єктів АСМ виступають засоби вимірювальної та обчислювальної техніки, пов'язані між собою інформаційними потоками згідно ієрархічної моделі.

Обговорення результатів

Результати проектування АСМ стану ТЕБ на МОСВ зображено на рис. 5 у вигляді графічної моделі проектної АСМ.

Як видно з наведеної схеми, проектна АСМ виконує приймання та обробку даних від проєктованих датчиків-газоаналізаторів хлору (Cl_2) в атмосферному повітрі та в повітрі робочої зони, датчиків тиску та температури протікання ТП, а також існуючої автоматизованої системи контролю ТП. Після порівняння отриманих даних із нормативними, в залежності від отриманих результатів, пульт управління системою здійснює інформування як технологічного персоналу цеху знезараження, так і оперативного чергового МОСВ. Інформування здійснюється через трансляцію сигналів попередження через гучномовці існуючої системи зв'язку, світлозвукові оповіщувачі, а у випадку розповсюдження хімічного зараження на територію МОСВ – шляхом запуску електромеханічної сирени. Якщо зафіксовано викид хлору у повітря робочої зони, пульт управління АСМ вмикає існуючу систему витяжної вентиляції, що відноситься до автоматизованої системи контролю ТП.

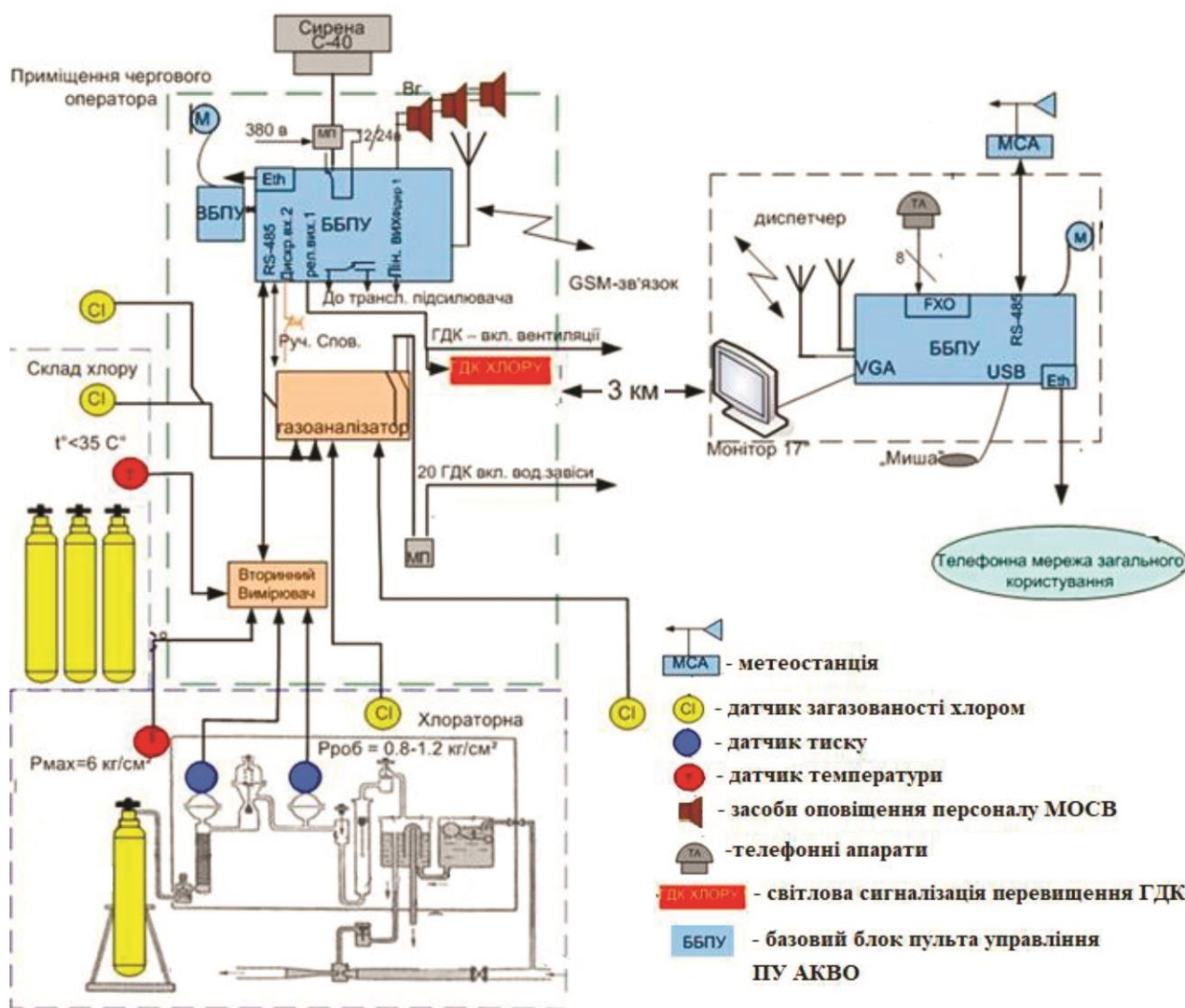


Рисунок 5 – Проектна схема АСМ стану ТЕБ на МОСВ

Одночасно з виконанням вищевказаних функцій пульт управління АСМ передає дані до центральної диспетчерської МОСВ, де оперативним черговим персоналом приймаються рішення другого рівня щодо мінімізації негативного впливу шкідливого чинника ТП на НПС. Водночас, передбачена проектом метеостанція передає в безперервному режимі дані до оперативно-диспетчерської служби МОСВ. У випадку виявлення витoku хлору за командою оператора пульт управління АСМ здійснює розрахунок зони можливого розповсюдження хмари хімічного забруднення прилеглою територією. На основі отриманих даних оперативно-диспетчерською службою приймається рішення щодо залучення додаткових ресурсів для недопущення негативного впливу на НПС за межами МОСВ. Для підвищення швидкості прийняття управлінських рішень пульт управління системою здійснює телефонне з'єднання із телефонами відповідальних осіб та, за допомогою формалізованих повідомлень, інформує про рівень ТЕБ на МОСВ в залежності від рівня загрози.

Оскільки проєктована АСМ призначена для підвищення ефективності прийняття управлінських рішень в сфері екологічного менеджменту,

важливим завданням є наглядне інформативне та систематизоване висвітлення результатів проведеного моніторингу в режимі реального часу.

Для вирішення цього завдання в комплекті пульта управління АСМ передбачено монітор, а питання організації процесу візуалізації результатів моніторингу покладено на спеціалізоване програмне забезпечення АКВО ТОВ «Телеком Комплекс» [19]. Екранні форми представлення даних будуються на основі плану об'єкту та прилеглої території із нанесеними на нього вимірювачами контролю стану ТЕБ при протіканні ТП знезараження стічних вод.

Прогнозування розповсюдження хмар
можливого хімічного забруднення є складовою
системи екологічного моніторингу стану
атмосферного повітря на міських очисних спорудах.
Основою для проектування системи прогнозування є
визначення метеоданих в зоні можливого хімічного
ураження. Такі параметри, як температура, напрямок
та швидкість вітру, дають змогу спрогнозувати
напрямок та швидкість розповсюдження зони
можливого хімічного ураження. В процесі
проектування системи прогнозування, важливим є
вирішення наступних питань:

- організація автоматичного процесу збирання, обробки та візуалізації метеоданих в режимі реального часу;

- поєднання алгоритмів вимірювання рівнів загазованості повітря парами хлору із метеоспостереженнями в режимі реального часу;

- формування та використання сценаріїв можливого розповсюдження хімічної хмари на територію за межами МОСВ.

Проектування системи прогнозування здійснюється із використанням наступних технічних рішень:

- встановлення на території МОСВ автоматичної метеостанції МСА-1, яка в автоматичному режимі передає значення температури, швидкості, напрямку та вертикальної стійкості атмосферного повітря;

- підключення метеостанції до пульта управління АКВО, який на попередньому етапі вже здійснював керування системою вимірювання загазованості;

- розширення існуючого програмного забезпечення, шляхом встановлення спеціального програмного модулю «Прогнозування», що забезпечує розшифровування та візуалізацію отриманих даних метеоспостереження та дозволяє створити сценарії можливого розвитку ситуації із рухом хімічно небезпечної хмари за межами території МОСВ.

Всі вимірювачі системи прогнозування наносяться на цифрову карту місцевості із відображенням отриманих від них даних в режимі реального часу. При спрацюванні групи датчиків загазованості програмне забезпечення на основі отриманих від метеостанції даних будує максимально можливо зону території за межами очисних МОСВ, що потрапляє в область дії хімічної хмари, що сформувалась в наслідок витоку хлору.

Оскільки проєктована АСМ являє собою систему забезпечення безпеки МОСВ, окрему увагу при проєктуванні АСМ стану ТЕБ на МОСВ слід приділити питанню забезпечення стійкості та надійності системи. Розробка механізмів забезпечення параметрів безперебійної роботи системи повинна здійснюватися за наступними напрямками.

1. Забезпечення елементів системи, джерелами резервного живлення.

2. Забезпечення надійної роботи каналів зв'язку.

3. Забезпечення швидкого відновлення роботи системи в разі поломки її технічних складових.

Для забезпечення надійності роботи та стійкості, в АСМ передбачені функції самодіагностики її складових, а протоколи обміну інформацією містять спеціальні службові кластери, для обміну даними про працездатність системи.

Виходячи із аналізу наявних АСМ стану атмосферного повітря, можна зробити висновок, що запропонована АСМ стану ТЕБ на МОСВ відповідає основним принципам побудови та функціонування подібних систем, що вже функціонують в рамках забезпечення екологічної безпеки в нашій країні.

Напрями впровадження розробленої системи

Впровадження АСМ, як засобу контролю за потенційно небезпечними чинниками впливу на НПС є сучасним та перспективним напрямком забезпечення екологічної безпеки на всіх рівнях, від безпосередньо об'єкту оснащення до систем забезпечення ТЕБ регіону та держави.

Харківська міська рада та Харківська обласна військова адміністрація активно впроваджують автоматизовані системи безпеки у всі галузі діяльності міста та регіону. Так, 17 квітня 2024 року, Виконавчий комітет Харківської міської ради, затвердив Положення про Ситуаційний центр міста Харкова [20]. Однією з функцій Ситуаційного центру є сприяння оперативному реагуванню на надзвичайні ситуації у взаємодії з підрозділами Національної поліції, Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту, Центру екстреної медичної допомоги, аварійною газовою службою тощо. Для забезпечення реалізації вказаної функції в центрі передбачено наявність відділів моніторингу та відеоспостереження, оперативного реагування, а також оперативно-координаційного центру.

Перспектива впровадження технології моніторингу стану ТЕБ МОСВ шляхом проєктування відповідної АСМ напряму залежить від трьох основних чинників:

- можливості забезпечити належний рівень ТЕБ на об'єкті оснащення;

- можливості інтеграції отриманих результатів в інші АСМ на рівні регіону та держави;

- рівня ефективності капітальних інвестицій, яких потребує створення АСМ.

Побудована на основі технологічної схеми знезараження стічних вод на МОСВ, АСМ стану ТЕБ автоматизує ті процеси забезпечення ТЕБ об'єкту, що до її впровадження виконувалися в ручному режимі. Автоматизація процесів прийняття управлінських рішень за допомогою впровадження АСМ стану ТЕБ здатна підвищити ефективність екологічного менеджменту об'єкту та захистити НПС від негативного впливу чинників забруднення атмосферного повітря при протіканні процесу знезараження міських стічних вод.

Використання сучасних електронно-обчислювальних пристроїв, програмного забезпечення та мережних технологій дозволяє організувати обмін інформацією між АСМ стану ТЕБ на МОСВ та іншими системами моніторингу та забезпечення ТЕБ. Одним із напрямів функціонування Ситуаційного центру міста Харкова є організація отримання даних про стан ТЕБ від комунальних установ, в число яких входять і МОСВ. До того ж, обмін даними із іншими системами моніторингу дозволить отримувати дані про метеопараметри, радіаційну обстановку, зони дії негативних природних і техногенних чинників в місцях, де об'єктова АСМ не може розмістити свої вимірювачі. Отримані дані можуть бути використані для більш точного розрахунку моделі прогнозування розповсюдження негативних чинників техногенної діяльності МОСВ. На рис. 6 зображена загальна схема організації обміну даними між різними АСМ.

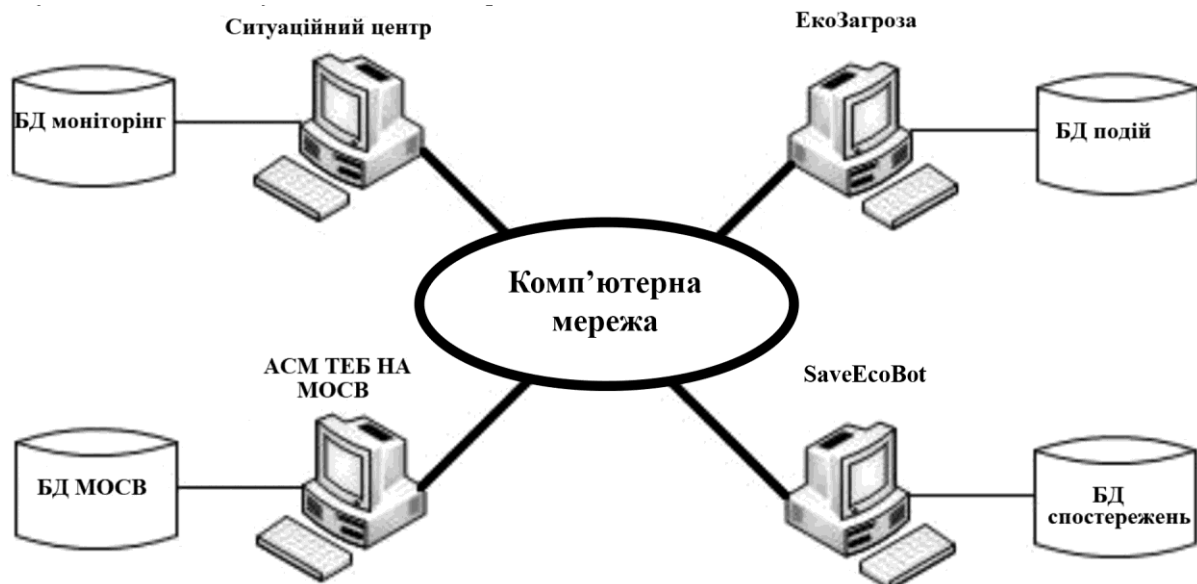


Рисунок 6 – Схема організації обміну даними між АСМ

Перевагою розробленої технології автоматизації моніторингу стану ТЕБ на МОСВ є те, що система, окрім питань ТЕБ, здатна вирішувати цілу низку питань промислової безпеки об'єкту оснащення. А використання уніфікованих технічних засобів та каналів зв'язку не потребує використання для цілей забезпечення ТЕБ вузькоспеціалізованого та унікального обладнання. Такий підхід до проектування АСМ стану ТЕБ дозволяє зробити проект більш привабливим та суттєво підвищити шанси на його практичну реалізацію.

Такий ефект досягається, завдяки тому що розроблена технологія дозволяє:

- використовувати АСМ стану ТЕБ як відокремлену частину автоматизованої системи контролю ТП шляхом використання вже існуючих на об'єкті вимірювачів, тиску, рівня, температури, рівня загазованості, а також автоматизованих робочих місць, каналів зв'язку, серверного устаткування тощо;

- використовувати дані АСМ стану ТЕБ в системах промислової автоматизації, системах виявлення надзвичайних ситуацій та оповіщення, системах метеорологічних вимірювань тощо.

Таким чином, відповідаючи всім сучасним критеріям та базуючись на сучасних засобах вимірювальної та електронно-обчислювальної техніки, технологія автоматизації моніторингу стану ТЕБ на МОСВ, має перспективи до впровадження та використання на об'єктах очищення стічних вод.

Висновки

1. Запропонована технологія автоматизації моніторингу стану ТЕБ на МОСВ забезпечує вирішення головної мети її розробки – забезпечення персоналу, відповідального за безпечне для НПС протікання ТП знезараження стічних вод, своєчасною, повною, та систематизованою інформацією про стан атмосферного повітря в розрізі викидів в нього парів хлору, який використовуються в технології знезараження.

Впровадження АСМ стану ТЕБ на МОСВ є сучасним інструментом підвищення рівня екологічного менеджменту на підприємстві, а запровадження сучасних засобів автоматизації та вимірювальної техніки, дозволяє інтегрувати АСМ в системи управління станом ТЕБ регіонального та загальнодержавного рівнів.

2. Основний позитивний ефект розробки та впровадження технології автоматизованого моніторингу стану атмосферного повітря на МОСВ досягається шляхом забезпечення можливості прийняття оперативних управлінсько-технічних рішень у випадку виявлення наявності хлору у повітрі. Крім цього, АСМ додатково забезпечує додаткову стійкість та надійність основного технологічного устаткування шляхом інформування про відхилення певних показників роботи устаткування від нормативних значень.

3. Застосований принцип інтеграції різного за функціональною ознакою устаткування в існуючу схему ТП дозволяє розглядати АСМ стану ТЕБ на МОСВ як складову, що забезпечує нормальну роботу технологічного устаткування та контролює нормативно встановлений перебіг ТП. Такий підхід дозволяє включення АСМ стану ТЕБ на МОСВ до складу заходів охорони НПС при проектуванні, ремонті, реконструкції установок знезараження стічних вод, що використовують хлор в якості знезаражуючої речовини.

Використання в проектованій АСМ технології контролю метеопараметрів, дозволяє завчасно розробити управлінські рішення щодо недопущення розповсюдження хмари хімічного зараження на значну територію, а технологія прогнозування розповсюдження зараження в режимі реального часу інформує оперативно-черговий персонал об'єкту про можливі наслідки розвитку ситуації.

4. Подальший розвиток та впровадження технології автоматизації моніторингу стану ТЕБ на МОСВ пов'язаний їх технічним переоснащенням об'єктів очищення стічних вод. Архітектура та

принципи побудови технології дозволяють використовувати під час її проектування уніфіковані вузли та виконавчі пристрої.

Особливу важливість АСМ стану ТЕБ на МОСВ отримує в умовах повномасштабної агресії на територію нашої держави, коли до звичних чинників ТЕБ, додаються зовнішні впливи на нормальне

протікання ТП промислових підприємств. Автоматизація процесу моніторингу стану ТЕБ в межах створення окремої АСМ дає змогу використовувати результати роботи технології захисту навколишнього середовища не лише на об'єктовому рівні, а й у системах забезпечення ТЕБ регіону та держави.

ЛІТЕРАТУРА

1. Про затвердження Методики прогнозування наслідків виливу (викиду) небезпечних хімічних речовин під час аварій на хімічно небезпечних об'єктах і транспорті. Наказ Міністерства внутрішніх справ України № 1000 від 29.11.2019 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0440-20#Text> (дата звернення 17.02.2025).
2. Українська асоціація підприємств водопровідно-каналізаційного господарства «Укрводоканалекологія». Офіційний сайт. URL: <https://ukrvodokanal.in.ua> (дата звернення 22.02.2025).
3. ДУ «Миколаївський обласний центр контролю та профілактики хвороб Міністерства охорони здоров'я України». Офіційний сайт. URL: <https://mocdc.mk.ua> (дата звернення 22.02.2025).
4. Wastewater treatment: A short assessment on available techniques / A. Nishat et al. *Alexandria Engineering Journal*. 2023. Vol. 76. P. 505-516.
5. A critical review of conventional and emerging wastewater treatment technologies / R. Sangamner et al. *Sustainable Water Resources Management*. 2023. Vol. 9. Art. 58.
6. A state-of-the-art review on wastewater treatment techniques: the effectiveness of adsorption method / R. Rashid et al. *Environmental Science and Pollution Research*. 2021. Vol. 28. P. 9050–9066.
7. Ковальчук В.А. Очистка стічних вод. Рівне: ВАТ «Рівненська друкарня», 2002. 622 с.
8. Про регулювання містобудівної діяльності. Закон України № 3038-VI від 17.02.2011 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3038-17#Text> (дата звернення 17.02.2025).
9. Деякі питання створення, адміністрування та забезпечення функціонування засобу інформатизації. Постанова Кабінету Міністрів України № 205 від 21.02.2025 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/205-2025-%D0%BF#Text> (дата звернення 15.03.2025).
10. Бараннік В.О. Екологічний моніторинг: Конспект лекцій. Харків: ХНАМГ, 2011. 112 с.
11. Методичні вказівки до практичних занять і самостійної роботи з дисципліни «Екологічний моніторинг» / Уклад.: В.О. Бараннік. Харків: ХНАМГ, 2012. 18 с.
12. Комплексні системи захисту інформації : навчальний посібник / Уклад.: Ю. Є. Яремчук та ін. Вінниця: ВНТУ, 2018. 118 с.
13. Про затвердження Порядку очищення стічних вод перед скиданням в уразливих зонах. Постанова Кабінету Міністрів України № 378 від 02.04.2024 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/378-2024-%D0%BF#Text> (дата звернення 17.02.2025).
14. ЕкоЗагроза. Офіційний ресурс Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів. Офіційний сайт. URL: <https://ecozagroza.gov.ua/> (дата звернення 17.02.2025).
15. Український гідрометеорологічний центр ДСНС України. Офіційний сайт. URL: <https://www.meteo.gov.ua> (дата звернення 17.02.2025).
16. SaveEcoBot. Онлайн сервіс екологічного моніторингу. Офіційний сайт. URL: <https://www.saveecobot.com> (дата звернення 17.02.2025).
17. Плотников І.В., Рашкевич Н.В. Область роботи автоматизованих систем раннього виявлення надзвичайних ситуацій на гідроаккумуляторних електростанціях. *Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Problems of Emergency Situations»*. Харків: НУЦЗ України, 2024. С. 85–86.
18. Аналіз стану забезпечення безпеки гідротехнічних споруд / Н. В. Рашкевич та ін. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*. Херсон : Видавничий дім «Гельветика», 2024. Вип. 4. С. 317–321.
19. Пульт управління автоматизованим комплексом раннього виявлення загрози виникнення надзвичайних ситуацій та оповіщення ПУ АКВО. Харків: ТОВ «Телеком Комплекс», 2018. 29 с. URL: <https://surl.li/evuzly> (дата звернення 27.12.2024).
20. Харківська міська рада. Офіційний сайт. URL: <https://www.city.kharkiv.ua> (дата звернення 17.12.2024).

Plotnikov I., Kondratenko O., Koloskova H., Koloskov V.

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR MONITORING CHLORINE EMISSIONS INTO THE ATMOSPHERE DURING DISINFECTION OF WASTEWATER AT MUNICIPAL WASTEWATER TREATMENT PLANTS

The technology of automation of monitoring of the state of technogenic and ecological safety at urban treatment plants has been developed, as an executive body of the technology of environmental protection. A new automated monitoring system for the control of chlorine emissions into the atmospheric air has been developed and the technology for assessing the state of technogenic and ecological safety of treatment plants has been improved. The basis of the process of detecting chlorine emissions is a separate automated subsystem of gas analysis, which is a superstructure over the technological automation systems.

The development of an automated monitoring system involves the use of modern electronic computing devices and specialized software to solve the functions assigned to it. The topology of the placement of measuring transducers of the gas analysis system has been developed based on technological maps of the decontamination process, taking into account the composition, location and characteristics of the main technological equipment.

The use of meteorological parameter control technology in the designed automated monitoring system allows for the early development of management decisions to prevent the spread of a cloud of chemical contamination over a significant area, and the technology for predicting the spread of contamination in real time informs the operational and duty personnel of the facility about the possible consequences of the situation.

Considering the lack of environmental monitoring of the state of atmospheric air at urban treatment facilities, the implementation of an automated monitoring system will allow for the control of one of the extremely dangerous factors of the wastewater treatment production process, which poses an environmental hazard not only to atmospheric air, but also to the environment as a whole.

The developed environmental protection technology through the use of unified devices and protocols has a high coefficient of interchangeability of components and does not impose additional requirements on equipment, which makes it more adaptive.

Key words: protection technologies, environment, wastewater disinfection, chlorine vapor, pollution spread prediction, automated monitoring system.

REFERENCES

1. *Pro zatverdzhennia Metodyky prohnozuvannia naslidkiv vylyvu (vykydu) nebezpechnykh khimichnykh rechovyn pid chas avarii na khimichno nebezpechnykh ob'ekтах i transporti* [On the approval of the method of forecasting the effects of pouring (ejection) of hazardous chemicals during accidents at chemically hazardous objects and transport], 1000 Decree of the Cabinet of Ministers of Ukraine (2019). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0440-20#Text>. [in Ukrainian]
2. Ukrainian Association of Businesses of Water Field "Ukrvodokanalokolohiia". (2025). URL: <https://ukrvodokanal.in.ua>. [in Ukrainian]
3. State Institution «Mykolaiv Regional Center for Control and Prevention of Diseases of the Ministry of Health of Ukraine». (2025). URL: <https://mocdc.mk.ua>. [in Ukrainian]
4. Nishat, A., Yusuf, M., Qadir, A., Ezaier, Y., Vambol, V., Khan, I. M., Ben Moussa, S., Kamyab, H., Sehgal, S. S., Prakash, C., Yang, H.-H., Ibrahim, H., & Eldin, S. M. (2023). Wastewater treatment: A short assessment on available techniques. *Alexandria Engineering Journal*, 76, 505–516.
5. Sangamnere, R., Misra, T., Bherwani, H., Kapley, A., & Kumar, R. (2023). A critical review of conventional and emerging wastewater treatment technologies. *Sustainable Water Resources Management*, 9, 58.
6. Rashid, R., Shafiq, I., Akhter, P., Iqbal, M. J., & Hussain, M. (2021). A state-of-the-art review on wastewater treatment techniques: the effectiveness of adsorption method. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 9050–9066.
7. Kovalchuk, V. A. (2002). *Ochystka stichnykh vod* [Wastewater treatment]. Rivne, VAT «Rivnenska drukarnia». [in Ukrainian]
8. *Pro rehulivannia mistobudivnoi diialnosti* [On regulation of urban planning activity], 3038-VI Law of Ukraine (2011). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3038-17#Text>. [in Ukrainian]
9. *Deiaki pytannia stvorennia, administruvannia ta zabezpechennia funktsionuvannia zasobu informatyzatsii* [Some issues of creation, administration and ensuring the functioning of a tool of informatization], 205 Decree of the Cabinet of Ministers of Ukraine (2025). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/205-2025-%D0%BF#Text>. [in Ukrainian]
10. Barannik, V. O. (2011). *Ekolohichni monitorynh: Konspekt leksii* [Environmental Monitoring: Lecture Notes]. Kharkiv, KNAME. [in Ukrainian]
11. Barannik, V. O. (2012). *Metodychni vkazivky do praktychnykh zaniat i samostiinoi roboty z dysypliny "Ekolohichni monitorynh"* [Methodical instructions for practical classes and independent work in the discipline "Ecological Monitoring"]. Kharkiv, KNAME. [in Ukrainian]
12. Yaremchuk, Yu. Ye., Pavlovskiy, P. V., Kataiev, V. S., & Siniuhin, V. V. (2018). *Kompleksni systemy zakhystu informatsii: navchalnyi posibnyk* [Complex information security systems: a textbook]. Vinnytsia, VNTU. [in Ukrainian]
13. *Pro zatverdzhennia Poriadku ochyshchennia stichnykh vod pered skydanniam v urazlyvykh zonakh* [On approval of the order of wastewater treatment before dumping in vulnerable zones], 378 Decree of the Cabinet of Ministers of Ukraine (2024). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/378-2024-%D0%BF#Text>. [in Ukrainian]
14. Ministry of Environmental and Natural Resources of Ukraine. (2025). *EcoThreat*. URL: <https://ecozagroza.gov.ua/>. [in Ukrainian]
15. Ukrainian Hydrometeorological Center of the SES of Ukraine. (2025). URL: <https://www.meteo.gov.ua>. [in Ukrainian]
16. SaveEcoBot. (2025). *Online Ecological Monitoring Service*. URL: <https://www.saveecobot.com>. [in Ukrainian]
17. Plotnykov, I. V., & Rashkevych, N. V. (2024). Oblast roboty avtomatyzovanykh system rannoho vyivlennia nadzvychainykh sytuatsii na hidroakumulovanykh elektrostantsiakh [The area of operation of automated systems of early detection of emergencies at hydroaccumulated power plants]. *Materialy Mizhnarodnoi naukovy-praktychnoi konferentsii "Problems of Emergency Situations"*. Kharkiv: NUCDU, 85–86. [in Ukrainian]
18. Rashkevych, N. V., Plotnykov, I. V., Otrosh, Yu. A., & Chuchmai, O. M. (2024). Analiz stanu zabezpechennia bezpeky hidrotekhnichnykh sporud [Analysis of the state of safety of hydraulic structures]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk. Seriya: Tekhnichni nauky*, 4, 317–321. [in Ukrainian]
19. Telecom Complex LLC. (2018). *Pult upravlinnia avtomatyzovanykh kompleksom rannoho vyivlennia zahrozy vynykennia nadzvychainykh sytuatsii ta opovishchennia PU AKVO* [The control panel automated complex of early detection of the threat PU AKVO]. URL: <https://surl.li/evuzly>. [in Ukrainian]
20. Kharkiv City Council. (2025). URL: <https://www.city.kharkiv.ua>. [in Ukrainian]