

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНА СЛУЖБА УКРАЇНИ З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНА СЛУЖБА УКРАЇНИ З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

ВОВЧУК Таїсія Сергіївна

УДК 621.03.9

ДИСЕРТАЦІЯ

ПОПЕРЕДЖЕННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ НА ОБ'ЄКТАХ
ХІМІЧНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ В УМОВАХ НАДЛИШКОВОГО
ТЕХНОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ

263 – цивільна безпека

26 – цивільна безпека

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

_____ Т.С. Вовчук

Науковий керівник Шевченко Роман Іванович, доктор технічних наук,
професор

Харків – 2024

АНОТАЦІЯ

Вовчук Т.С. Попередження надзвичайних ситуацій на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 263 – Цивільна безпека. – Національний університет цивільного захисту України, Харків, 2024.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню важливого наукового завдання у сфері цивільного захисту – розробці інформаційних та математичних моделей, застосування яких дозволить підвищити ефективність попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження за рахунок впровадження QR – технології зберігання та відновлення інформації щодо ідентифікації небезпеки у ґрунті та ґрунтових водах.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні наукові завдання.

Для досягнення поставленої мети в дисертаційній роботі необхідно розв'язати наступні задачі:

1. Проаналізувати стан попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження.

2. Розробити інформаційну модель попередження надзвичайних ситуацій на небезпечних об'єктах хімічної промисловості за рахунок впровадження QR-технології зберігання та відновлення інформації.

3. Розробити математичну модель попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження шляхом ідентифікації небезпеки у ґрунтах.

4. Розробити математичну модель попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження шляхом ідентифікації небезпеки у ґрунтових водах.

5. Перевірити достовірність розроблених моделей.

6. Розробити варіанти впровадження розроблених моделей попередження надзвичайної ситуації на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження.

Об'єкт дослідження: процес попередження надзвичайної ситуації техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження.

Предмет дослідження: чинники небезпеки забруднюючих продуктів в ґрунтах та ґрунтових води, які супроводжують процес розвитку, поширення та попередження надзвичайної ситуації техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження.

Для розв'язання поставлених наукових задач в дисертаційному дослідженні використовувалися методи функціонального та факторного аналізу, теорії імовірності та математичної статистики, теорії алгоритмів, математичного моделювання, теорії управління і проведення наукових досліджень, теорії електропровідності та гідродинаміки.

У процесі виконання роботи вперше отримані наступні наукові результати.

1. Вперше розроблена інформаційна модель попередження надзвичайних ситуацій на небезпечних об'єктах хімічної промисловості з надлишковим техногенним навантаженням за рахунок впровадження QR – технології зберігання та відновлення інформації, яка складається з двох контурів управління загального контуру (традиційного) і оперативного контуру, який функціонує при загрозі настання надзвичайної ситуації.

2. Вперше розроблена математична модель попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах хімічної

промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження шляхом ідентифікації небезпеки у ґрунтах яка являє собою систему з п'яти аналітичних залежностей. Перша аналітична залежність описує процес трансформації гідрохімічного складу води в елементах ґрунту від часу та концентрації хімічно-небезпечної речовини зі складу забруднюючих продуктів. Друга – встановлює залежність руху води в ґрунті на території поширення небезпеки від часу катастрофічної події. Третя – визначає залежність розповсюдження хімічно-небезпечних речовин зі складу забруднюючих продуктів в елементах ґрунту в залежності від часу та інтенсивності впливу забруднюючих продуктів на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження. Четверта та п'ята залежності дозволяють визначити зміни коефіцієнту електропровідності проби ґрунту на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження в залежності від вмісту забруднюючих продуктів.

3. Вперше розроблена математична модель попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження шляхом ідентифікації небезпеки у ґрунтових водах являє собою систему з п'яти аналітичних залежностей. Перша аналітична залежність описує процес руху ґрунтових вод в зоні поширення надзвичайної ситуації на об'єкті хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження в залежності від гідравлічного напору та коефіцієнту водовіддачі. Друга – встановлює залежність процесу поширення забруднюючих продуктів в ґрунтових водах від коефіцієнту гідродинамічної дисперсії та швидкості ґрунтових вод. Третя – визначає залежність конвективної дифузії небезпечних речовин з урахуванням ентальпії процесу витоку забруднюючої речовини на територію об'єкту хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження. Четверта - визначає ентальпію витоку забруднюючої речовини від щільності та потужності внутрішніх

джерел тепла. П'ята - дозволяє визначити зміни коефіцієнту електропровідності проби ґрунтової води на території об'єкту хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження від вмісту забруднюючих продуктів.

У вступі обґрунтована актуальність напрямку досліджень за обраною темою; зазначено зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами; сформульована мета і завдання наукового дослідження; розкрита наукова новизна отриманих результатів і практична цінність роботи; наведені дані про особистий внесок здобувача і апробацію результатів дисертації.

У першому розділі проведено аналіз стану попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження. Визначено, що у провідних країнах світу дії рятувальних підрозділів із запобігання техногенним надзвичайним ситуаціям на об'єктах підвищеної небезпеки характеризуються своєчасним прибуттям та застосуванням сучасних засобів для ліквідації наслідків. Однак інертність адміністративних органів, відсутність варіативності в інструкціях і процедурах, а також відсутність методів швидкого виявлення зони поширення небезпек призводять до затримок в оповіщенні про існуючі небезпеки, затримок в евакуації, і як наслідок, до людських жертв.

У другому розділі вирішено друге завдання наукового дослідження щодо розробки інформаційної моделі попередження надзвичайних ситуацій на небезпечних об'єктах хімічної промисловості за рахунок впровадження QR – технології зберігання та відновлення інформації, яке здійснено наступним чином. Спочатку розглянуто особливості процесу QR - управління надзвичайною ситуацією техногенного характеру на небезпечних об'єктах хімічної промисловості. Після чого розроблено інформаційну модель попередження надзвичайних ситуацій на небезпечних об'єктах хімічної промисловості за рахунок впровадження QR – технології зберігання та відновлення інформації.

У третьому розділі вирішено третє наукове завдання з розробки математичної моделі попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження шляхом ідентифікації небезпеки у ґрунтах, яке здійснено наступним чином. В першу чергу, розглянуто основні фізико-хімічні процеси, що мають місце в ґрунтах на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження в процесі поширення надзвичайної ситуації; по-друге, розглянуто основні підходи до рішення задачі та сформульовано граничні та початкові умови забезпечення процесу попередження надзвичайної ситуацій техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження. Після чого дано опис формального рішення задачі попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження шляхом ідентифікації небезпеки у ґрунтах, яке і є шуканою математичною моделлю.

У четвертому розділі вирішено четверте наукове завдання з розробки математичної моделі попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження шляхом ідентифікації небезпеки у ґрунтових водах, яке здійснено наступним чином. В першу чергу, розглянуто основні фізико-хімічні процеси, що мають місце в ґрунтових водах на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження в процесі поширення надзвичайної ситуації техногенного характеру унаслідок потрапляння небезпечних речовин зі складу забруднюючих продуктів у ґрунтові води. По-друге, розглянуто та сформульовано граничні та початкові умови забезпечення процесу попередження надзвичайної ситуацій техногенного характеру у наслідок попадання небезпечних речовин у ґрунтові води. Після чого дано опис формального рішення задачі попередження надзвичайної ситуації техногенного характеру на об'єктах

хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження шляхом ідентифікації забруднюючих продуктів у ґрунтових водах, яке і є шуканою математичною моделлю.

У п'ятому розділі вирішено п'яте завдання наукового дослідження з перевірки достовірності розроблених моделей. Спочатку дано опис лабораторної установки з проведення експериментальних досліджень з попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження. Наступним кроком опрацьовано результати чисельних експериментів з перевірки достовірності математичних моделей попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження.

У шостому розділі запропоновано варіанти впровадження розроблених моделей в підрозділі ДСНС.

Практичне значення отриманих результатів полягає у подальшому розвитку сучасних підходів до розв'язання задач підвищення ефективності попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження шляхом ідентифікації небезпеки забруднюючих продуктів в ґрунтах та ґрунтових водах.

Отриманні інструментальні засоби з розв'язання задач попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження є підґрунтям для подальшого переходу та впровадженню інформаційно-аналітичного комплексу QR - управління надзвичайною ситуацією на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження шляхом ідентифікації небезпеки у ґрунтах та ґрунтових водах в єдиному європейському інформаційному просторі.

Результати роботи можуть використовуватися в системі інформаційної підтримки під час організації дій аварійно-рятувальних

підрозділів ДСНС з ліквідації надзвичайних ситуацій на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження. Інформаційно-аналітичний комплекс може також використовуватися у вигляді інформаційного забезпечення персональних комп'ютерів у допоміжних аварійних службах різного ієрархічного рівня підпорядкування.

Ключові слова надзвичайна ситуація, QR – управління, ідентифікація небезпеки, небезпечне виробництво, ґрунти, ґрунтові води, попередження, надлишкове техногенне навантаження.

Список публікацій здобувача за темою дисертації

Наукові праці, у яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

Статті у наукових фахових виданнях України, що входять до міжнародних наукометричних баз:

1. **Вовчук Т.С.**, Дейнеко Н.В., Левтеров О.А., Шевченко Р.І. Аналіз інформаційних умов формування структурно-логічної моделі управління надзвичайною ситуацією в умовах відсутності електропостачання внаслідок пошкодження електромереж // Науково-технічний збірник «Комунальне господарство міст». Серія: Технічні науки та архітектура. Х.:ХНАМГ 2020, 4 (157). С. 97-102.

(Здобувачці особисто належать аналіз літературних та інформаційних джерел та формування логічних зав'язків структурно-логічної моделі управління надзвичайною ситуацією техногенного характеру)

2. **Вовчук Т.С.**, Дейнеко Н.В., Кіреєв О.О., Левтеров О.А., Шевченко Р.І. Альтернативні джерела живлення та їх деградаційна стійкість в умовах надзвичайних ситуацій техногенного характеру // Інженерія природокористування. 2020. № 4(18). С. 7-13.

(Здобувачці особисто належить розробка методики аналізу небезпек на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження)

3. **Вовчук Т.С.**, Шевченко Р.І. Інформаційно-аналітичне забезпечення процесу попередження надзвичайних ситуацій на об'єктах хімічної промисловості // Проблеми надзвичайних ситуацій. Харків: НУЦЗУ, 2021. Вип. 34 (2). С. 255-271.

(Здобувачці особисто належить розробка інформаційної моделі та алгоритмів побудови інформаційно-аналітичного забезпечення процесу попередження надзвичайних ситуацій на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження)

4. **T.S. Vovchuk**, J.L. Wilk-Jakubowski, V.M. Telelim, V.M. Loboichenko, O.S. Shevchenko, N.S. Tregub, R.I. Shevchenko Investigation of the use of the acoustic effect in extinguishing fires of oil and petroleum products // SOCAR Proceedings Special Issue No.2 (2021) 024-031 (Scopus).

(Здобувачці особисто належить розробка математичних моделей попередження надзвичайних ситуацій шляхом ідентифікації небезпеки в ґрунтах на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження)

5. **Вовчук Т.**, Лобойченко В., Рашкевич Н., Шевченко О., Шевченко Р. Формування інформаційної QR – технології моніторингу стану поверхневих вод на територіях, які постраждали внаслідок бойових дій // Scientific foundations in research in Engineering: collective monograph / Korniylo I., Gnyp O. – etc. – International Science Group. – Boston : Primedia eLaunch, 2022. 357-368 p.

(Здобувачці особисто належить розробка математичної моделі попередження надзвичайних ситуацій шляхом ідентифікації небезпеки в ґрунтових водах на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження).

6. Рашкевич Н.В., Шевченко Р.І., **Вовчук Т.С.** Формування математичної моделі аналізу небезпечного впливу на стан ґрунтових вод міських агломерацій від ракетно-артилерійських уражень // Науково-технічний

збірник «Комунальне господарство міст». Серія: Технічні науки та архітектура. Х.:ХНАМГ 2024, том 1, випуск 182. С. 229- 240.

(Здобувачці особисто належить розробка математичної моделі попередження надзвичайних ситуацій шляхом ідентифікації небезпеки в ґрунтових водах на об'єктах хімічної промисловості в зоні розвитку надзвичайної ситуації).

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

1. **Vovchuk T.S., Shevchenko R.I.** Actuality and basis concepts of the expert-statistical model for preventing emergency situations // 8 Міжнародна НТК «Проблеми інформатизації». Тези доповідей, Том.3, Черкаси-Харків-Баку-Бельсько-Бяла, 2020. С. 50.

(Здобувачці особисто належить розробка математичних моделей попередження надзвичайних ситуацій шляхом ідентифікації небезпеки в ґрунтах на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження)

2. **Вовчук Т.С., Шевченко О.С., Шевченко Р.І.** Використання технологій QR - кодування на об'єктах критичної інфраструктури // Кібербезпека в Україні: правові та організаційні питання: матеріали міжн. наук. практ. конф., Одеса, ОДУВС, 2020. С. 46-48.

(Здобувачці особисто належить розробка інформаційної моделі та алгоритмів побудови інформаційно-аналітичного забезпечення процесу попередження надзвичайних ситуацій на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження)

3. **Вовчук Т.С., Зобенко О.О., Шевченко Р.І.** Розробка інформаційної технології попередження надзвичайних ситуацій та пожеж енергопервантажених приміщеннях об'єктів критичної інфраструктури // Одинадцята міжнародна науково-технічна конференція “Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління”. 2021. Баку-Харків-Київ-Жиліна. - С. 89.

(Здобувачці особисто належить розробка методики аналізу небезпек на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження)

4. **Вовчук Т.С., Шевченко Р.І.** Використання технологій QR – кодування в системах підтримки дій керівника ліквідації НС на об'єктах критичної інфраструктури // Міжнародна науково-практична конференція молодих вчених "Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту" Харків: НУЦЗУ, 2021. – С. 271.

(Здобувачці особисто належить розробка інформаційної моделі та алгоритмів побудови інформаційно-аналітичного забезпечення процесу попередження надзвичайних ситуацій на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження)

5. **Вовчук Т.С., Шевченко О. С., Шевченко Р.І.** Інтеграція вітчизняних підходів з попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на небезпечних виробництвах в інформаційно-аналітичний простір країн Європейської Спільноти // Спроможності функціональних та територіальних підсистем ЄДСЦЗ для оперативного розв'язання завдань за призначенням : Матеріали 22 Всеукраїнської науковопрактичної конференції (за міжнародною участю). Електронне наукове видання комбінованого використання. Київ : ІДУ НД ЦЗ, 2021. 49-54 с.

(Здобувачці особисто належать аналіз літературних та інформаційних джерел та формування логічних зав'язків структурно-логічної моделі управління надзвичайною ситуацією техногенного характеру)

6. **Вовчук Т.С., Шевченко О. С., Шевченко Р.І.** Обґрунтування необхідності застосування сучасних qr-технологій в процесі попередження надзвичайних ситуацій на об'єктах критичної інфраструктури // Надзвичайні ситуації: безпека та захист: Матеріали XI Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю. – Черкаси: ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2021. – С. 149.

(Здобувачці особисто належить розробка інформаційної моделі та алгоритмів побудови інформаційно-аналітичного забезпечення процесу попередження надзвичайних ситуацій на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження)

7. **Вовчук Т.С., Шевченко Р.І.** розробка системи інформаційної підтримки дій з попередження надзвичайних ситуацій на об'єктах хімічної

промисловості // Сучасні аспекти модернізації науки: стан, проблеми, тенденції розвитку: матеріали XIX Міжнародної науково-практичної конференції. Вільнюс: ГО «ВАДНД», 2022 р. С. 289-292.

(Здобувачці особисто належить розробка інформаційної моделі та алгоритмів побудови інформаційно-аналітичного забезпечення процесу попередження надзвичайних ситуацій на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження)

8. Divizinyuk M., **Vovchuk T.**, Shevchenko O., Shevchenko R. Conditions for the integration of qr-technology for the prevention of man-made emergencies at critical infrastructure in the information and analytical space of the european community // Innovations and prospects of world science. Proceedings of the 9th International scientific and practical conference. Perfect Publishing. Vancouver, Canada. 2022. Pp. 154-159.

(Здобувачці особисто належить розробка математичних моделей попередження надзвичайних ситуацій шляхом ідентифікації небезпеки в ґрунтах на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження)

9. **Вовчук Т.С.**, Шевченко Р.І. Можливості використання технологій QR – кодування при запровадженні ризик-орієнтованого підходу з оцінки небезпеки нс на об'єктах критичної інфраструктури // Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту: матеріали міжнародної науково-практичної конференції молодих учених. Харків: НУЦЗУ, 2022. С. 214.

(Здобувачці особисто належить розробка математичної моделі попередження надзвичайних ситуацій шляхом ідентифікації небезпеки в ґрунтових водах на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження)

10. **Vovchuk T.**, Shevchenko O., Shevchenko R. Formation of information basis on the organization of emergency monitoring at chemical facilities // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми пожежної безпеки 2022» («Fire Safety Issues 2022»). – Х.: НУЦЗ України, 2022. – 261-263.

(Здобувачці особисто належить розробка математичної моделі попередження надзвичайних ситуацій шляхом ідентифікації небезпеки в ґрунтових водах на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження)

11. **Вовчук Т.С., М'ясоєдова А.В., Шевченко Р.І.** Застосування інформаційних технологій у питаннях попередження надзвичайних ситуацій на об'єктах хімічної промисловості // International scientific conference «Information technologies and management in higher education and sciences» : conference proceedings (Fergana, the Republic of Uzbekistan). Part 1. Riga, Latvia : —Baltija Publishing, 2022. P.189-192.

(Здобувачці особисто належить розробка інформаційної моделі та алгоритмів побудови інформаційно-аналітичного забезпечення процесу попередження надзвичайних ситуацій на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження)

12. **Вовчук Т.С., Нешпор О.В., Шевченко Р.І.** Інформаційні технології у питаннях попередження надзвичайних ситуацій внаслідок пожежі на об'єктах критичної інфраструктури // Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту: матеріали міжнародної науково-практичної конференції молодих учених. Харків: НУЦЗУ, 2023. 229 с.

(Здобувачці особисто належить розробка математичних моделей попередження надзвичайних ситуацій шляхом ідентифікації небезпеки в ґрунтах на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження)

13. **Вовчук Т., Шевченко О., Шевченко Р.** Інноваційні технології з попередження надзвичайних ситуацій на об'єктах хімічної промисловості // Перспективні напрямки наукових досліджень щодо технічного та тилового забезпечення національної гвардії України/ Матеріали науково-практичної конференції. Харків. НАНГУ. 2023. С. 6-7.

(Здобувачці особисто належить розробка математичної моделі попередження надзвичайних ситуацій шляхом ідентифікації небезпеки в ґрунтових водах на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження)

14. **Vovchuk T., Shevchenko R.** Application of innovative technologies in issues of preventing emergency situations at critical infrastructure facilities // Наука про цивільний захист як шлях становлення молодих вчених / Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції курсантів, студентів, ад'юнктів (аспірантів). – Черкаси: Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2023. С. 291-292.

(Здобувачці особисто належить розробка математичної моделі попередження надзвичайних ситуацій шляхом ідентифікації небезпеки в ґрунтових водах на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження)

15. **Vovchuk T., Shevchenko O., Shevchenko R.** Information technologies for the prevention of emergency situations at chemical industry facilities // Challenges and threats to critical infrastructure. Collective monograph - NGO Institute for Cyberspace Research (Detroit, Michigan, USA), 2023. - p. 160.

(Здобувачці особисто належить розробка математичних моделей попередження надзвичайних ситуацій шляхом ідентифікації небезпеки в ґрунтах на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження)

16. **Вовчук Т.С., Шевченко О.С., Шевченко Р.І.** Інформаційна підтримки дій з попередження надзвичайних ситуацій на об'єктах критичної інфраструктури // Об'єднання теорії та практики – запорука підвищення готовності оперативно-рятувальних підрозділів до виконання дій за призначенням. Матеріали круглого столу. – Харків: Національний університет цивільного захисту України, 2023. С. 56-58.

(Здобувачці особисто належить розробка інформаційної моделі та алгоритмів побудови інформаційно-аналітичного забезпечення процесу попередження надзвичайних ситуацій на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження)

17. **Вовчук Т., Шевченко О., Шевченко Р.** Використання технологій quick response для попередження надзвичайних ситуацій на об'єктах критичної інфраструктури в умовах впливів воєнного часу // VI Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених, студентів і

курсантів інформаційна безпека та інформаційні технології. Львів. ЛДУБЖД. 2023. С. 248-250.

(Здобувачці особисто належить розробка інформаційної моделі та алгоритмів побудови інформаційно-аналітичного забезпечення процесу попередження надзвичайних ситуацій на об'єктах хімічної промисловості в умовах впливів воєнного часу)

ANNOTATION

Vovchuk T.S. Prevention of emergency situations at chemical industry facilities in conditions of excessive man-made load. - Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Thesis for doctor of philosophy degree in specialty 263 - Civil safety. - National University of Civil Defense of Ukraine, Kharkiv, 2024.

The dissertation is devoted to the solution of an important scientific task in the field of civil defense - the development of information and mathematical models, the use of which will allow to increase the effectiveness of prevention of emergency situations of man-made nature at the facilities of the chemical industry in conditions of excessive man-made load due to the implementation of QR - technology for storing and restoring information about identification of hazards in soil and groundwater.

In order to achieve the set goal, it is necessary to solve the following scientific tasks.

In order to achieve the set goal in the dissertation work, it is necessary to solve the following problems:

1. To analyze the state of man-made emergency prevention at chemical industry facilities in conditions of excessive man-made load.

2. To develop an information model for the prevention of emergency situations at dangerous facilities of the chemical industry due to the introduction of qr-technology for storing and restoring information.

3. To develop a mathematical model for the prevention of man-made emergencies at chemical industry facilities under conditions of excessive man-made load by identifying hazards in the soil.

4. To develop a mathematical model of prevention of man-made emergency situations at chemical industry facilities under conditions of excessive man-made load by identifying hazards in groundwater.

5. Check the reliability of the developed models

6. Develop options for implementing the developed emergency prevention models at chemical industry facilities under conditions of excessive man-made load.

The object of the study: the process of preventing an emergency situation of a man-made nature at the facilities of the chemical industry in conditions of excessive man-made load.

The subject of the study: factors of the danger of polluting products in soils and groundwater, which accompany the process of development, spread and prevention of an emergency situation of a man-made nature at the facilities of the chemical industry in conditions of excessive man-made load.

The methods of functional and factor analysis, the theory of probability and mathematical statistics, the theory of algorithms, mathematical modeling, the theory of management and conducting scientific research, the theory of electrical conductivity and hydrodynamics were used to solve the set scientific problems in the dissertation research.

In the course of the work, the following scientific results were obtained for the first time.

1. For the first time, an information model was developed for the prevention of emergency situations at dangerous facilities of the chemical industry with excessive man-made load due to the introduction of QR - information storage and recovery technology, which consists of two control circuits of the general circuit (traditional) and an operational circuit that functions in the event of a threat emergency situation

2. For the first time, a mathematical model was developed for the prevention of man-made emergencies at chemical industry facilities under conditions of excessive man-made load by identifying hazards in the soil, which is a system of five analytical dependencies. The first analytical dependence describes the process of transformation of the hydrochemical composition of water in soil elements depending on time and the concentration of a chemically hazardous substance from the composition of polluting products. The second one establishes the dependence of the movement of water in the soil in the territory of the spread of danger on the time of the catastrophic event. The third one determines the dependence of the spread of chemically hazardous substances on the composition of polluting products in soil elements, depending on the time and intensity of the impact of polluting products on chemical industry facilities under conditions of excessive man-made load. The fourth and fifth dependencies make it possible to determine the changes in the electrical conductivity coefficient of the soil sample at the chemical industry facilities under conditions of excessive man-made load, depending on the content of polluting products.

3. For the first time, the developed mathematical model for the prevention of man-made emergency situations at chemical industry facilities under conditions of excessive man-made load by identifying the danger in groundwater is a system of five analytical dependencies. The first analytical dependence describes the process of movement of groundwater in the area of the spread of an emergency situation at a chemical industry facility under conditions of excessive man-made load, depending on the hydraulic pressure and water yield coefficient. The second one establishes the dependence of the process of spreading polluting products in groundwater on the coefficient of hydrodynamic dispersion and the speed of groundwater. The third one determines the dependence of the convective diffusion of hazardous substances taking into account the enthalpy of the process of leakage of the polluting substance into the territory of the chemical industry facility under conditions of excess man-made load. The fourth - determines the enthalpy of pollutant leakage from the density and power of internal heat sources. The fifth - allows you to determine changes in the conductivity coefficient of the soil water

sample on the territory of the chemical industry facility under conditions of excessive man-made load from the content of polluting products.

The introduction substantiates the relevance of the direction of research on the chosen topic; the connection of the work with scientific programs, plans, topics is indicated; formulated goal and task of scientific research; the scientific novelty of the obtained results and the practical value of the work are revealed; given data on the personal contribution of the recipient and approval of the results of the dissertation.

In the first chapter, an analysis of the state of man-made emergency prevention at chemical industry facilities in conditions of excessive man-made load was carried out. It was determined that in the leading countries of the world, the actions of rescue units to prevent man-made emergency situations at high-risk facilities are characterized by timely arrival and the use of modern means to eliminate the consequences. However, the inertia of administrative bodies, the lack of variability in instructions and procedures, as well as the lack of methods for quickly identifying the danger zone lead to delays in warning about existing dangers, delays in evacuation and, as a result, to human casualties.

In the second chapter, the second task of the scientific research on the development of an information model for the prevention of emergency situations at dangerous facilities of the chemical industry due to the implementation of QR - information storage and recovery technology, which is carried out as follows, is solved. First, the peculiarities of the QR process - management of an emergency situation of man-made nature at dangerous facilities of the chemical industry are considered. After that, an information model was developed for the prevention of emergency situations at dangerous facilities of the chemical industry due to the implementation of QR - information storage and recovery technology.

In the third chapter, the third scientific task of developing a mathematical model for preventing man-made emergency situations at chemical industry facilities under conditions of excessive man-made load by identifying hazards in the soil was solved, which was carried out as follows. First of all, the main physico-chemical processes that take place in the soil at chemical industry facilities under conditions of excessive man-made load during the spread of an emergency

situation are considered; secondly, the main approaches to solving the problem were considered and the boundary and initial conditions for ensuring the process of preventing man-made emergencies at chemical industry facilities under conditions of excessive man-made load were formulated. After that, a description of the formal solution to the problem of prevention of man-made emergency situations at chemical industry facilities under conditions of excessive man-made load by identifying the danger in the soil, which is the sought-after mathematical model, is given.

In the fourth chapter, the fourth scientific task of developing a mathematical model for preventing man-made emergencies at chemical industry facilities under conditions of excessive man-made load by identifying the danger in groundwater is solved, which is carried out as follows. First of all, the main physico-chemical processes that take place in groundwater at chemical industry facilities under conditions of excessive man-made load in the process of the spread of an emergency situation of a man-made nature as a result of the ingress of dangerous substances from the composition of polluting products into groundwater are considered. Secondly, the marginal and initial conditions for ensuring the process of preventing man-made emergency situations as a result of the ingress of hazardous substances into groundwater were considered and formulated. After that, a description of the formal solution to the problem of prevention of man-made emergencies at chemical industry facilities in conditions of excessive man-made load by identifying polluting products in groundwater, which is the sought-after mathematical model, is given.

In the fifth chapter, the fifth task of the scientific research to verify the reliability of the developed models is solved. First, a description of the laboratory installation for conducting experimental studies on the prevention of man-made emergency situations at chemical industry facilities under conditions of excessive man-made load is given. The next step was to process the results of numerical experiments to verify the reliability of mathematical models for preventing man-made emergencies at chemical industry facilities under conditions of excessive man-made load.

In the sixth chapter, options for implementing the developed models in the subdivisions of the State Emergency Service are proposed.

The practical significance of the obtained results lies in the further development of modern approaches to solving the problems of increasing the effectiveness of preventing man-made emergencies at chemical industry facilities in conditions of excessive man-made load by identifying the danger of polluting products in soils and groundwater.

The obtained instrumental means for solving the problems of preventing man-made emergencies at chemical industry facilities in conditions of excess man-made load are the basis for further transition and implementation of the information and analytical complex QR - management of an emergency situation at chemical industry facilities in conditions of excess man-made load by identifying hazards in soils and groundwater in a single European information space.

The results of the work can be used in the information support system during the organization of the actions of emergency and rescue units of the State Emergency Service to eliminate emergency situations at chemical industry facilities under conditions of excessive man-made load. The information and analytical complex can also be used as information support for personal computers in auxiliary emergency services of different hierarchical levels of subordination.

Key words: emergency situation, QR - management, hazard identification, dangerous production, soils, groundwater, warning, excessive man-made load.

ЗМІСТ

Анотація	2
Зміст	21
Перелік умовних скорочень	25
Вступ	26
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ПОПЕРЕДЖЕННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРУ НА ОБ'ЄКТАХ ХІМІЧНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ В УМОВАХ НАДЛИШКОВОГО ТЕХНОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ.....	35
1.1. Аналіз наслідків надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в провідних країнах світу	35
1.2. Аналіз стану з попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах підвищеної небезпеки у європейських країнах та країнах, що розвиваються	38
1.3. Наслідки надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в Україні	43
Висновки за першим розділом	46
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ПОПЕРЕДЖЕННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ НА НЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ'ЄКТАХ ХІМІЧНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ ЗА РАХУНОК ВПРОВАДЖЕННЯ QR-ТЕХНОЛОГІЇ ЗБЕРІГАННЯ ТА ВІДНОВЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ	47
2.1. Особливості процесу QR-управління надзвичайною ситуацією техногенного характеру на небезпечних об'єктах хімічної промисловості	47
2.2. Інформаційна модель попередження надзвичайних ситуацій на небезпечних об'єктах хімічної промисловості за	

рахунок впровадження QR – технології зберігання та відновлення інформації	51
Висновки за другим розділом	58
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПОПЕРЕДЖЕННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРУ НА ОБ'ЄКТАХ ХІМІЧНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ В УМОВАХ НАДЛИШКОВОГО ТЕХНОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ ШЛЯХОМ ІДЕНТИФІКАЦІЇ НЕБЕЗПЕКИ У ГРУНТАХ	60
3.1. Основні фізико-хімічні процеси, що мають місце в ґрунтах на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження в процесі поширення надзвичайної ситуації	61
3.2. Основні підходи до рішення задачі попередження надзвичайної ситуацій техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження, формування граничних та початкових умови забезпечення процесу попередження	72
3.3. Опис формального рішення задачі – математичної моделі попередження надзвичайної ситуації техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження шляхом ідентифікації небезпеки у ґрунтах.....	80
Висновки за третім розділом	83
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПОПЕРЕДЖЕННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРУ НА ОБ'ЄКТАХ ХІМІЧНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ В УМОВАХ НАДЛИШКОВОГО ТЕХНОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ ШЛЯХОМ	

ІДЕНТИФІКАЦІЇ НЕБЕЗПЕКИ У ГРУНТОВИХ ВОДАХ	85
4.1. Основні фізико-хімічні процеси, які відбуваються в ґрунтових водах на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження в процесі поширення надзвичайної ситуації техногенного характеру.....	86
4.2. Граничні та початкові умови забезпечення процесу попередження надзвичайної ситуацій техногенного характеру на території об'єкту хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження унаслідок потрапляння токсичних речовин зі складу забруднюючих продуктів у ґрунтові води.....	93
4.3. Опис формального рішення задачі – математичної моделі попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження шляхом ідентифікації небезпеки у ґрунтових водах.....	98
Висновки за четвертим розділом	102
РОЗДІЛ 5. ПЕРЕВІРКА ДОСТОВІРНОСТІ РОЗРОБЛЕНИХ МОДЕЛЕЙ	104
5.1. Розробка лабораторної установки з проведення експериментальних досліджень з попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження.....	104
5.2. Результати чисельних експериментів з перевірки достовірності математичних моделей попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження.....	108

.....Висновки за п'ятим розділом	123
РОЗДІЛ 6. ВАРІАНТИ ВПРОВАДЖЕННЯ РОЗРОБЛЕНИХ МОДЕЛЕЙ ПОПЕРЕДЖЕННЯ НАДЗВИЧАЙНОЇ СИТУАЦІЇ НА ОБ'ЄКТАХ ХІМІЧНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ В УМОВАХ НАДЛИШКОВОГО ТЕХНОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ	125
6.1. Особливості технологічного процесу на об'єкті хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження	125
6.2. Розробка інформаційно-аналітичного комплексу підтримки управління надзвичайною ситуацією на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження шляхом ідентифікації небезпеки у ґрунтах та ґрунтових водах за рахунок використання QR - технологій.....	129
Висновки за шостим розділом	138
Висновки	140
Список використаних джерел	144
Додаток А	163
Додаток Б	172

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

- АРР – аварійно-рятувальні роботи;
- АРФ – аварійно-рятувальні формування;
- АРП – аварійно-рятувальні підрозділи;
- ГДК – гранично допустимі концентрації;
- ДСНС – Державна служба України з надзвичайних ситуацій;
- ІЗВ - індекс забруднення води;
- КІЗ - комбінаторний індекс забруднення;
- МВС - Міністерство внутрішніх справ України;
- МО - Міністерство оборони України;
- НС – надзвичайна ситуація;
- НХР – небезпечна хімічна речовина;
- ОРС – оперативно-рятувальні сили;
- ОПН – об’єкт підвищеної небезпеки;
- СіЗ – сили і засоби;
- ТО – технічне обслуговування;
- ХНО – хімічно небезпечний об’єкт;
- BGI -біогеохімічний індекс;
- ERLN - лабораторія екстремального екологічного реагування;
- M-SQR - Мюнхенберзький рейтинг якості ґрунтів;
- QR - quick response (швидкий відгук);
- PLI - індекс навантаження та забруднення;
- WPI - індекс забруднення води.

ВСТУП

Обґрунтування вибору теми дослідження. Аналіз стану техногенної та природної безпеки в Україні за останні роки свідчить про зростання кількості надзвичайних ситуацій як в Україні в цілому, так і в секторі небезпечної виробничої інфраструктури. До першої групи належать надзвичайні ситуації техногенного характеру, більшість з яких пов'язані з викидами небезпечних хімічних речовин (переважно нафтопродуктів та їх похідних) у ґрунт і ґрунтові води на території об'єктів та за їх межами. Частота виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру на хімічних промислових об'єктах з надмірним антропогенним навантаженням перевищує середній показник по країні в більшості районів промислового скупчення. Як наслідок, у 2021 році в умовах надмірного техногенного забруднення на об'єктах хімічної промисловості загинуло 86 осіб, що на 23 більше, ніж попередній рік. У 13 областях України зафіксовано зростання кількості загиблих внаслідок надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надмірного техногенного навантаження. Зниження рівня безпеки внаслідок експлуатації будівель, споруд, обладнання та інженерних мереж на межі вичерпання ресурсів і скорочення терміну експлуатації об'єктів життєзабезпечення створюють потенційну небезпеку для життя і діяльності людей. Це вимагає, з одного боку, проведення комплексу превентивних заходів, а з іншого - розробки сучасного інструментарію (методичного та математичного) для боротьби з надзвичайними ситуаціями техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надмірних виробничих навантажень. Останнє має органічно вирішити неоднозначність, викликану протиріччям, що існує між, з одного боку, стрімким розвитком можливостей інформаційних технологій, а з іншого – застарілим підходом до організації інформаційної підтримки дій аварійно-рятувальних формувань.

Одним із шляхів вирішення цього протиріччя є комплексне використання методів QR - кодування та інноваційних способів вираження ідентифікації небезпеки при інформуванні аварійно-рятувальних служб та населення щодо дій у надзвичайних ситуаціях на об'єктах хімічної промисловості з підвищеним техногенним навантаженням.

Тому головним завданням дисертаційного дослідження є розробка інформаційних та математичних моделей, застосування яких дозволить підвищити ефективність попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження за рахунок впровадження QR – технології зберігання та відновлення інформації щодо ідентифікації небезпеки у ґрунті та ґрунтових водах.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Роботу виконано відповідно до Розпорядження Кабінету Міністрів України від 27 квітня 2011 року № 368-р «Про схвалення Концепції Загальнодержавної цільової соціальної програми захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру на 2012-2016 роки», «Стратегії реформування системи Державної служби з надзвичайних ситуацій», схваленої Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 25 січня 2017 р. № 61-р та Плану заходів з реалізації Стратегії розвитку органів системи Міністерства внутрішніх справ на період до 2020 року, затвердженого розпорядженням Кабінету Міністрів України від 21 серпня 2019 року № 693, а також в рамках виконання науково-дослідної роботи «Проектування та розробка автоматизованої довідково-інформаційної системи щодо загроз об'єктів за паспортами ризиків виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру України» (№ ДР 0123U100308).

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційного дослідження є розробка інформаційних та математичних моделей попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах хімічної

промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження за рахунок впровадження QR – технології зберігання та відновлення інформації щодо ідентифікації небезпеки у ґрунті та ґрунтових водах.

Для досягнення поставленої мети в дисертаційній роботі необхідно розв'язати наступні задачі:

6. Проаналізувати стан попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження.

7. Розробити інформаційну модель попередження надзвичайних ситуацій на небезпечних об'єктах хімічної промисловості за рахунок впровадження QR-технології зберігання та відновлення інформації.

8. Розробити математичну модель попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження шляхом ідентифікації небезпеки у ґрунтах.

9. Розробити математичну модель попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження шляхом ідентифікації небезпеки у ґрунтових водах.

10. Перевірити достовірність розроблених моделей.

11. Розробити варіанти впровадження розроблених моделей попередження надзвичайної ситуації на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження.

Об'єкт дослідження – процес попередження надзвичайної ситуації техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження.

Предмет дослідження – чинники небезпеки забруднюючих продуктів в ґрунтах та ґрунтових води, які супроводжують процес розвитку, поширення та попередження надзвичайної ситуації техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження.

Методи дослідження. Для розв'язання поставлених наукових задач в дисертаційному дослідженні використовувалися методи функціонального та факторного аналізу, теорії ймовірності та математичної статистики, теорії алгоритмів, математичного моделювання, теорії управління і проведення наукових досліджень, теорії електропровідності та гідродинаміки.

Наукова новизна отриманих результатів. У дисертаційній роботі вирішена актуальна науково-практична задача у сфері цивільного захисту, а саме задача підвищення ефективності попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження за рахунок впровадження QR – технології зберігання та відновлення інформації щодо ідентифікації небезпеки у ґрунті та ґрунтових водах.

При виконанні дисертації отримано наступні нові наукові результати:

1. Вперше розроблена інформаційна модель попередження надзвичайних ситуацій на небезпечних об'єктах хімічної промисловості з надлишковим техногенним навантаженням за рахунок впровадження QR – технології зберігання та відновлення інформації, яка складається з двох контурів управління загального контуру (традиційного) і оперативного контуру, який функціонує при загрозі настання надзвичайної ситуації

2. Вперше розроблена математична модель попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження шляхом ідентифікації небезпеки у ґрунтах, яка являє собою систему з п'яти аналітичних залежностей. Перша аналітична залежність описує процес трансформації гідрохімічного складу води в елементах ґрунту від часу та концентрації хімічно-небезпечної речовини зі складу забруднюючих продуктів. Друга – встановлює залежність руху води в ґрунті на території поширення небезпеки від часу катастрофічної події. Третя – визначає залежність розповсюдження хімічно-небезпечних речовин зі складу забруднюючих продуктів в елементах ґрунту в залежності від часу та

інтенсивності впливу забруднюючих продуктів на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження. Четверта та п'ята залежності дозволяють визначити зміни коефіцієнту електропровідності проби ґрунту на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження в залежності від вмісту забруднюючих продуктів.

3. Вперше розроблена математична модель попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження шляхом ідентифікації небезпеки у ґрунтових водах являє собою систему з п'яти аналітичних залежностей. Перша аналітична залежність описує процес руху ґрунтових вод в зоні поширення надзвичайної ситуації на об'єкті хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження в залежності від гідравлічного напору та коефіцієнту водовіддачі. Друга – встановлює залежність процесу поширення забруднюючих продуктів в ґрунтових водах від коефіцієнту гідродинамічної дисперсії та швидкості ґрунтових вод. Третя – визначає залежність конвективної дифузії небезпечних речовин з урахуванням ентальпії процесу витоку забруднюючої речовини на територію об'єкту хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження. Четверта - визначає ентальпію витоку забруднюючої речовини від щільності та потужності внутрішніх джерел тепла. П'ята - дозволяє визначити зміни коефіцієнту електропровідності проби ґрунтової води на території об'єкту хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження від вмісту забруднюючих продуктів.

Практичне значення отриманих результатів. Наукові результати дисертаційної роботи є подальшим розвитком сучасних підходів до розв'язання задач підвищення ефективності попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження шляхом ідентифікації

небезпеки забруднюючих продуктів в ґрунтах та ґрунтових водах.

Отриманні інструментальні засоби з розв'язання задач попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження є підґрунтям для подальшого переходу та впровадженню інформаційно-аналітичного комплексу QR - управління надзвичайною ситуацією на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження шляхом ідентифікації небезпеки у ґрунтах та ґрунтових водах в єдиному європейському інформаційному просторі.

Результати роботи можуть використовуватися в системі інформаційної підтримки під час організації дій аварійно-рятувальних підрозділів ДСНС з ліквідації надзвичайних ситуацій на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження. Інформаційно-аналітичний комплекс може також використовуватися у вигляді інформаційного забезпечення персональних комп'ютерів у допоміжних аварійних службах різного ієрархічного рівня підпорядкування.

Основні результати дослідження були впроваджені в практичну діяльність 3 Державного пожежно-рятувального загону ГУ ДСНС України у Рівненській області (акт впровадження від 28.03.2024р.) та ТОВ „Рівень ЛТД” (акт впровадження від 12.04.2024 р.).

Особистий внесок здобувача. Основні положення та результати дисертаційної роботи отримані автором особисто і наведені в роботах, які представлені у додатку А.

При проведенні дисертаційних досліджень здобувачем особисто виконано аналіз літературних та інформаційних джерел, які розглядають надзвичайні ситуації техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження та їх управління [A2, A9, A11].

Особисто здобувачем розроблена інформаційна модель попередження надзвичайних ситуацій на небезпечних об'єктах хімічної промисловості з

надлишковим техногенним навантаженням за рахунок впровадження QR – технології зберігання та відновлення інформації [A1, A3, A8, A10, A12, A13, A17].

Особисто здобувачем розроблена математична модель попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження шляхом ідентифікації небезпеки у ґрунтах [A4, A6, A14, A18, A21].

Особисто здобувачем розроблена математична модель попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження шляхом ідентифікації небезпеки у ґрунтових водах [A5, A6, A15, A16, A19, A20].

Здобувач також брала участь у обробці та аналізі фактичних даних процесу поширення небезпеки надзвичайних ситуації на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження [A2, A9, A11, A13, A17], здійснювала їх математичне та фізичне моделювання [A2, A3, A4], сформулювала пропозиції щодо впровадження розроблених моделей [A19, A21, A22, A23].

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на: 8 Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми інформатизації». (Черкаси-Харків-Баку-Бельсько-Бяла, 2020); Міжнародній науково-практичній конференції «Кібербезпека в Україні: правові та організаційні питання» (Одеса, 2020); Одинадцятій міжнародній науково-технічній конференції “Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління” (Баку-Харків-Київ-Жиліна, 2021); Міжнародній науково-практичній конференції молодих вчених "Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту" (Харків, 2021); 22 Всеукраїнській науково-практичній конференції (за міжнародною участю) «Спроможності функціональних та територіальних підсистем ЄДСЦЗ для оперативного розв'язання завдань за призначенням» (Київ, 2021); XI Всеукраїнській науково-практичній

конференції з міжнародною участю «Надзвичайні ситуації: безпека та захист» (Черкаси, 2021); XIX Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні аспекти модернізації науки: стан, проблеми, тенденції розвитку» (Вільнюс, Литва, 2022); 9th International scientific and practical conference «Innovations and prospects of world science» (Vancouver, Canada, 2022); Міжнародній науково-практичній конференції молодих учених «Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту» (Харків, 2022); Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми пожежної безпеки 2022» (Харків, 2022); International scientific conference «Information technologies and management in higher education and sciences» : conference proceedings (Fergana, the Republic of Uzbekistan, Riga, Latvia, 2022); Міжнародній науково-практичній конференції молодих учених «Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту» (Харків, 2023); Науково-практичній конференції «Перспективні напрямки наукових досліджень щодо технічного та тилового забезпечення національної гвардії України» (Харків, 2023); Всеукраїнській науково-практичній конференції курсантів, студентів, ад'юнктів (аспірантів) «Наука про цивільний захист як шлях становлення молодих вчених» (Черкаси, 2023); Challenges and threats to critical infrastructure (Detroit, Michigan, USA, 2023); Круглому столі «Об'єднання теорії та практики – запорука підвищення готовності оперативно-рятувальних підрозділів до виконання дій за призначенням» (Харків, 2023); VI Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих учених, студентів і курсантів «Інформаційна безпека та інформаційні технології» (Львів, 2023).

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 23 наукові праці: 1 стаття у науковому виданні, яке входить до наукометричної бази Scopus, 4 статті у наукових фахових виданнях України, що входять до міжнародних наукометричних баз, 1 розділ колективної міжнародної монографії, та 17 тез доповідей на Міжнародних та Всеукраїнських наукових конференціях.

Структура і об'єм дисертації. Дисертаційна робота загальним обсягом 176 сторінки складається з анотації, змісту, переліку умовних скорочень, вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел із 152 найменувань і 2-х додатків, містить 25 рисунків та 4 таблиці.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СТАНУ ПОПЕРЕДЖЕННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРУ НА ОБ'ЄКТАХ ХІМІЧНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ В УМОВАХ НАДЛИШКОВОГО ТЕХНОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ

1.1. Аналіз наслідків надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в провідних країнах світу

Надзвичайні ситуації, пов'язані з техногенними аваріями на об'єктах хімічної промисловості трапляються в багатьох країнах світу. Сьогодні їх виникнення переважно пов'язане з організаційними та технічними недоліками, а на території нашої держави у наслідок повномасштабного вторгнення з боку РФ.

Можна відзначити, що на хімічну та харчову промисловість припадає найбільша кількість травм в аваріях пов'язаних з виходом з ладу обладнання, а на хімічну промисловість-найбільша кількість травм через порушення технологічного процесу[1].

Серед нещодавніх надзвичайних ситуацій у Сполучених Штатах Америки (США) – вибух на заводі з виробництва мінеральних добрив West Fertiliser у квітні 2013 року, в наслідок якого загинуло 15 осіб [2] та завдано збитків на суму 10 мільйонів доларів США у вигляді не прямих наслідків, включаючи забруднення навколишнього середовища [3, 4].

У 2014 році в США сталася низка інцидентів, пов'язаних з експлуатацією небезпечних об'єктів [5,6]. У штаті Техас (США) двоє робітників загинули в результаті аварії на об'єкті підвищеної небезпеки

(ОПН) в Ель-Пасо [7]; у квітні 2014 року аналогічна аварія обійшлася без людських жертв. Однак вона завдала непрямих збитків на суму 126 мільйонів доларів США [6].

Зупинка технічного процесу на підприємстві Carencro's Evangeline (штат Луїзіана, США) [8] у 2017 році становила загрозу як для навколишнього середовища, так і для споживачів питної води. Прямі та непрямі збитки склали понад 3000000 000 доларів США.

Прорив резервуару на підприємстві з виробництва небезпечних матеріалів у 2004 році призвів до загибелі одного працівника і поранення двох інших, які намагалися запобігти потраплянню забруднюючих речовин у річку Спокан (штат Вашингтон, США) [9].

Як приклад запобігання ескалації ситуації на об'єкті до більш серйозного рівня, варто відзначити заходи, вжиті корпорацією Olin Corporation для запобігання просочуванню забруднюючих речовин у ґрунт і ґрунтові води та їх накопиченню в річці Holst North Fork River (2017 р.) [10,11]. У випадку з Bunker Hill Mines Inc. (штат Айдахо, США), причиною стали стічні води небезпечного виробництва, але нещодавно подібна катастрофа сталася на очисних спорудах Стенфорда, де постраждали троє людей [12].

Сьогодні в США існує мережа лабораторій екстремального реагування (ERLN) [13], які відіграють певну роль у реагуванні на великі надзвичайні ситуації на небезпечних виробничих об'єктах США.

Востаннє десятиліття основним джерелом забруднення ґрунту та ґрунтових вод внаслідок надзвичайних ситуацій у Китаї були витіки з небезпечних підприємств [14].

Наприклад, у 2017 році сталася аварія з вибухом хімічних речовин, що призвела до загибелі понад чотирьох осіб та забруднення навколишнього середовища (провінція Цзянсу, Китай) [15]. Серед найгірших аварій останніх років - аварія, що забрала життя 78 людей в індустріальному парку в провінції Цзянсу у 2019 році [16] та вибух на хімічному складі в порту

Тяньцзінь, внаслідок якого загинуло 178 людей [17], а непрямі збитки склали понад 3,5 мільярда доларів США.

У 2019 році аварія на виробничому об'єкті небезпечної компанії Tianjiaui Chemical Co, призвела до травмування 64 особи і потрапляння забруднюючих речовин до ґрунтових вод та ґрунт [18]; у 2005 році вибух на нафтопереробному заводі (провінція Цзілінь, Китай) спричинив забруднення питної води [19]; у 2010 році вибух на нафтопереробному заводі (провінція Цзілінь, Китай) спричинив масштабний вибух на підприємстві Tianjiaui Chemical Co. В результаті аварії на об'єкті компанії Luliang Chemical Industry Co Ltd було забруднено ґрунт і воду в річці Наньпань, загинуло близько 100 голів худоби, а семеро мешканців сусіднього села Сінжун померли від раку [20].

Прискорена індустріалізація та затримки в інших сферах змусили китайське керівництво приділяти більше уваги плануванню раннього реагування, включаючи планування управління катастрофами [21], системи моніторингу та центри управління в надзвичайних ситуаціях [22]. При цьому важливим елементом раннього попередження та раннього реагування є аналіз стану об'єктів довкілля, особливо води, в режимі реального часу [23].

Південна Корея зіткнулася з серйозними проблемами внаслідок надзвичайних ситуацій на об'єктах підвищеної небезпеки. Наприклад, на заводі електроніки Doosan в Гумі сталася низка інцидентів, коли забруднюючі речовини витікали зі сховищ, вивільняючи важкі метали, органічні сполуки та мікроорганізми у воду [24]. У тому ж місті Гумі у 2012 році стався витік токсичних речовин [25], що призвело до збитків у розмірі 20 млн. доларів США та забруднення понад 320 га землі [25, 26] зазначається, що забруднення ґрунтів важкими металами та органічними сполуками в Японії зростає і перевищує національні стандарти. Зростання антропогенного навантаження спричинило такі надзвичайні ситуації в Японії, як забруднення ртуттю річки Агано, що призвело до виникнення джерельної хвороби у населення та забруднення кадмієм річки Дзіндзу (що

спричинило хворобу ітай-ітай) [27]. У першому випадку корпорація Chisso Corporation виплатила 86 мільйонів доларів США збитків, у тому числі за забруднення навколишнього середовища [28], а в другому випадку гірничодобувна корпорація Mitsui Kinzoku Mining Corporation виплатила компенсацію за захворювання людей [29].

Однією з причин потрапляння забруднюючих речовин у ґрунт і воду Канади є транскордонний вплив токсичних компаній із сусідніх країн, зокрема США [30, 31]. Однак, канадські токсичні компанії також мають негативний вплив. Наприклад, технологічні процеси компанії Suncor Energy Incorporated (Канада) спричинили появу замулених водойм і гудронів, площа яких зростає, а сам забруднений об'єкт є непридатним для використання [32]. Великі скиди неочищених стічних вод з небезпечних виробництв у провінції Онтаріо, Канада, призвели до накопичення ртуті та масового забруднення води і ґрунту.

Таким чином, у провідних країнах світу дії рятувальних підрозділів із запобігання техногенним надзвичайним ситуаціям на об'єктах підвищеної небезпеки характеризуються своєчасним прибуттям та застосуванням сучасних засобів для ліквідації наслідків. Однак інертність адміністративних органів, відсутність варіативності в інструкціях і процедурах, а також відсутність методів швидкого виявлення зони поширення небезпек призводять до затримок в оповіщенні про існуючі небезпеки, затримок в евакуації і, як наслідок, до людських жертв.

1.2. Аналіз стану з попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах підвищеної небезпеки у європейських країнах та країнах, що розвиваються

З огляду на методологічні засади процесу запобігання надзвичайним ситуаціям на небезпечних виробничих об'єктах у Європі та країнах, що

розвиваються, слід зазначити, що в цих питаннях спостерігається непослідовність і суперечливість.

Наприклад, в Індії аварія на небезпечному виробничому об'єкті в Делі (2018 рік) призвела до загибелі п'яти осіб, які намагалися зупинити витік, і Національна комісія з прав людини (НКПЛ) розслідувала цей інцидент [34, 35].

У 2012 році п'ятеро робітників загинули внаслідок надзвичайної ситуації на виробництві небезпечного характеру в Сол Прагет (Індія), пов'язаної з виходом з ладу насосного обладнання та витоком небезпечних речовин [36].

Одна з найсерйозніших катастроф на виробництві небезпечних речовин в Індії сталася в Раніпеті у 2015 році, коли від отруєння загинуло понад 30 осіб, а сума виплат склала 10 млн. рупій [37].

В ЄС, в Болгарії, Іспанії, Ірландії та Франції, недостатня потужність очисних споруд та їх перевантаження були названі причинами викиду небезпечних речовин з нафтопродуктів на території навколо небезпечних об'єктів [38].

На початку 2019 року аварія на підприємстві з виробництва небезпечних матеріалів компанії Irish Water (Дублін, Ірландія) призвела до викиду небезпечних речовин у Дублінську затоку [39]. Ще одним джерелом забруднення стали очисні споруди компанії з переробки твердого мулу [40].

У 2001 році вибух аміачної селітри на заводі з виробництва добрив у Франції призвів до загибелі 30 осіб, збитків на суму 1,5 млрд. євро, руйнування будівель, забруднення ґрунту та водних джерел [41, 42].

У 1998 році розлив близько 30 тонн пестицидів із заводу з виробництва пестицидів в Угорщині, призвів до забруднення ґрунту і ґрунтових вод, тимчасово порушивши водопостачання для більш ніж 20 000 людей [43].

У рамках заходів раннього реагування та запобігання надзвичайним ситуаціям у Великій Британії на очисних спорудах були встановлені датчики раннього попередження [44]. Однак це не завжди допомагало, що призвело

до викидів ціанідів та нафтопродуктів у річку Трент в результаті технологічних процесів на заводі "Северн Трент" [45]. За даними Агентства з охорони навколишнього середовища Великобританії, ключовими факторами, що сприяють таким інцидентам, є відсутність своєчасного моніторингу [46].

Крім того, у спільному дослідженні британських і польських вчених [47] за допомогою низки окремих хімічних показників було отримано інтегровану оцінку якості води в басейні річки Прут [48], де стан семи річок Сербії визначався за показниками якості води за десятьма параметрами [49]. Дослідження з використанням статистичних та фізико-хімічних методів для визначення якості води річки показало наявність точкових джерел забруднення. З іншого боку, для річки Тиса було відзначено загальне зростання антропогенного впливу на якість води при застосуванні сербського підходу до визначення індикаторів якості води [50]. Річка Дунай (Сербія) досліджувалася шляхом розрахунку індексу забруднення води (ІЗВ) [51].

У роботі [52] польські вчені також відзначили, що на якість підземних вод впливають різні антропогенні фактори в різних регіонах країни. У Південній Македонії дослідження річок Вардар, Брегалница та Црна [53] показали наявність дифузних антропогенних джерел забруднення. На необхідність контролю за забрудненням вказували також автори роботи [54] у своєму дослідженні вод Дунаю. Дослідження води низки річок південного регіону Польщі з використанням фізико-хімічних методів показали, що певні фактори, які беруть участь у виробництві токсичних речовин, мають значний вплив на хімічний склад води [55].

Для дослідження діяльності теплової електростанції Кострац (Сербія) автори роботи [56] вимірювали забруднення ґрунту неорганічними забруднювачами (з використанням аналізу основних компонентів); автори роботи [57] використовували метод ґрунтового магнітометра для дослідження забруднення ґрунту у Верхньосілезькому промисловому районі на півдні Польщі. З іншого боку, в роботі [58] розподілу важких металів у

грунтових профілях вивчався більш детально при дослідженні ґрунтів поблизу гірничодобувних і металургійних підприємств.

У роботі [59] ієрархічний кластерний аналіз та метод головних компонент були використані для інтерпретації якості ґрунтів у регіоні Бургас, Болгарія.

Автори роботи [60], які досліджували територію Таллінна в рамках проекту "Міська геохімія Таллінна", використовували статистичний аналіз і картографування для визначення розподілу хімічних елементів.

У роботі [61] стан ґрунтів поблизу небезпечних виробничих об'єктів у Тузлі (Хорватія) визначали за допомогою екстракції, радіомаркування, лабораторних і польових методів; автори роботи [62] досліджували специфіку забруднення ґрунтів націй території за допомогою геостатистичних методів і методів багато вимірного аналізу даних.

У роботі [63] проаналізовано фізико-хімічні параметри та вміст важких металів у ґрунтах угорських міст. При цьому кореляційний метод головних компонент та дискримінантний аналіз були використані для визначення напрямку та сили зв'язку між показниками якості ґрунту та їх комбінаціями для найбільш поширених угорських ґрунтів [64].

Автори [65, 66] запропонували низку показників забруднення для ідентифікації територій у Польщі, включаючи нещодавно запроваджений біогеохімічний індекс (БГІ) для оцінки ступеня забруднення ґрунтів.

У дослідженні ґрунтів у Торуні, Польща, на основі вмісту важких металів та індексу забруднення (PLI), автори [67] виявили, що не захищені ґрунти в небезпечних промислових зонах найбільш схильні до накопичення забруднювачів; автори [68] досліджували забруднення ґрунтів у Словаччині з використанням методів біомоніторингу; [69] Мюнхенська оцінка якості ґрунтів (M-SQR) була використана для ґрунтів в альпійських екосистемах в регіоні Казбегі в Грузії.

Найвищі технічні небезпеки, в тому числі пов'язані з промисловими аваріями, спостерігалися в Сербії, Чорногорії, Словенії та Туреччині [70]. У

Польщі в серпні 2019 року забруднюючі речовини потрапили в річку Вісла через поломку резервуара на очисних спорудах у місті Чайка [71]. В Угорщині у 2010 році стався витік 700000 м³ токсичних речовин, які неналежним чином зберігалися в резервуарах на території компанії Magyar Aluminium [72], що призвело до транскордонного забруднення річки Дунай і загибелі п'яти осіб.

Цілісність відстійника, що належить AURUL S.A. в Бая-Маре (Румунія), була порушена в 2000 році [73], що призвело до витоку великої кількості ціанідів і важких металів [74] в ґрунт і річку Сасар. Румунія, Угорщина, Югославія, Болгарія та Україна також постраждали від забруднення. У місті Сольнок (Угорщина) через забруднення було припинено постачання питної води [75].

У березні 2000 року 20000 тонн мінералів (цинк, мідь, свинець, ціанід тощо) витекло з декантаційного резервуару на шахті в Баїя-Борса в річку Візе [76], ґрунт і ґрунтові води.

Великі промислові аварії через розливи нафти також сталися в Македонії [77], Сербії та Чорногорії [78]. Наприклад, у 2001 році в Сербії стався витік нафти, внаслідок чого забруднена вода потрапила в річку Дрина [79].

За даними [80], існують проблеми, пов'язані з технічним обслуговуванням та обладнанням, які сприяють виникненню аварій у небезпечних галузях промисловості. Зокрема, 17,3% надзвичайних ситуацій техногенного характеру на небезпечних виробничих об'єктах характеризуються потраплянням нафтопродуктів у ґрунт і ґрунтові води [81].

Таким чином, відсутність єдиної методологічної бази для дій рятувальних підрозділів у різних країнах європейського регіону, призвело до людських втрат внаслідок надзвичайних ситуацій на небезпечних виробничих об'єктах у країнах Європейського Співтовариства.

1.3. Наслідки надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в Україні

Згідно з українським законодавством, правові та організаційні засади оцінки впливу на довкілля регулюються Законом України "Про оцінку впливу на довкілля" [82], а конкретні питання аналізу та деталі досліджень небезпечних виробничих об'єктів визначаються додатковими документами.

Наприклад, автори роботи [83] оцінили стан озерних вод за допомогою низки хімічних та біохімічних показників і згодом розрахували комплексний індекс забруднення води (КІЗВ). Ця оцінка була проведена за методикою [84], в якій запропоновано використання комплексного індексу забруднення води (КІЗВ).

В роботі [85] запропоновано використання інтегрованого біоекологічного методу та системи композитних інтегрованих біоекологічних показників для моніторингу водних екосистем; у роботі [86] запропоновано підхід з уніфікованою бальною системою для комплексної інтегральної оцінки антропогенного впливу на територію; у роботі [87] комплексна оцінка якості води ґрунтується на використанні ранжування показників якості води.

Існують дослідження стану водних об'єктів з використанням комплексного підходу до розрахунку блокових показників та інтегральних екологічних показників для оцінки стану річок: Харків [88], Уди [89], Студянка [90] та Південний Буг [91] знаходяться в безпосередній близькості до шкідливих виробництв.

Рівень антропогенного впливу в басейні річки Південний Буг оцінювався за методикою [93], що передбачає аналіз чотирьох підсистем [92] як найбільш ефективний підхід з використанням комплексних (інтегрованих) екологічних індикаторів. Ця методика також була використана для оцінки якості поверхневих вод у басейні р. Убля [95].

Для оцінки стану водних об'єктів автори використовували метод, що базується на застосуванні інтегрованих екологічних індикаторів та

показників солоності, біогенних елементів і блоків окремих токсичних речовин [96, 97].

В роботі [98] розглядаються інші підходи до оцінки якості води, зокрема ІЕІ та комбінаторний індекс забруднення (КІЗ). Дослідження стану водних об'єктів, комплексна оцінка якості води та виявлення джерел забруднення описані в роботах авторів [99, 100] та річок басейну Дніпра [100] відповідно.

Для р. Великий Куяльник проведено комплексну оцінку якості води з використанням коефіцієнтів забруднення [101] та екологічну оцінку якості води з використанням загальних інтегральних екологічних показників [102]; для оцінки якості води поверхневих водних джерел Полтавської області з використанням шести гідробіологічних показників здійснено застосування ІГІ [103].

Новий науковий підхід до використання інтегрованої системи індикаторів для визначення змін інтенсивності процесів на водозборі запропоновано в роботах авторів [104, 105].

У роботі [106] автори вказують на неповноту існуючих методів оцінки якості води, а в роботі [107] пропонується додатково використовувати коефіцієнти пошкодження при комплексній оцінці стану водного об'єкта для визначення ступеня пошкодження водних екосистем за рівнями хронічної токсичності води.

У роботі [108] для оцінки якості води та стану річки Інгулець було використано комплексну оцінку на основі ІЗІ, модифікованого ІЗІ, КРІ та критерію забруднення.

Основні навантаження для водозбору річки Плутон були визначені в роботі [109]. У розрахунках використано чотири фізико-хімічні показники [110]. Оцінка антропогенного навантаження з використанням концепції стійкості земель проведена в роботі [111]. Визначення антропогенного навантаження з використанням гідро культурних показників українсько-польських річок (Горинь, Тетерів, Уж, Устя, Десна, Турія, Стир) здійснено в

роботах [112, 113] на основі фактичних перевищень значень гідрокультурних показників на окремих ділянках басейну річки Десна. Вказано на причини антропогенного навантаження. Такий же підхід використано в роботі [114] для оцінки стану р. Золотоноша. Водночас у роботах [115, 116] вказується на неадекватність існуючих систем моніторингу у разі виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру на небезпечних виробництвах, пов'язаних із забрудненням ґрунтів та підземних вод. Нещодавні аварії у небезпечних галузях промисловості в Україні також заслуговують на увагу.

У липні 1995 року Диканівські очисні споруди в Харкові, де проживає 1,5 мільйона людей, перестали функціонувати після сильних дощів. Неочищені стічні води, що скидалися в річки Лопань та Уди, потрапили в Сіверський Донець, спричинивши надзвичайну ситуацію [117, 118], яка була швидко ліквідована [119, 120], а прямі збитки склали 231,5 млрд. гривень.

У червні 2018 року аварія сталася в Лубнах (Полтавська область) [121, 122]; у липні 2008 року близько 1000 кубометрів неочищених стічних вод було скинуто на поверхню в Херсоні, внаслідок чого 73000 людей залишилися без води [123, 124].

У березні 2010 року сталася аварія на трубопроводі небезпечного виробництва в селі Наддніпрянське Херсонської області [125, 126].

У 2015 році сталася аварія у Вознесенськ у Миколаївській області, де зношеність обладнання спричинила надзвичайну ситуацію в регіоні. Збитки, завдані аварією, склали понад 2 млн. грн. [127, 128].

У січні 2019 року аварія сталася у Бердянську. Повна ліквідація наслідків обійдеться приблизно у 22 млн. грн. [129]. У липні 2019 року насосна система перейшла в аварійний режим після того, як велика кількість невідомих речовин високої концентрації забила ступінчасті решітки на Львівських очисних спорудах [130].

Таким чином, наслідки техногенних надзвичайних ситуацій на небезпечних виробництвах в Україні, як і в інших країнах, призводять до

людських страждань. Це є наслідком не тільки відсутності своєчасного оповіщення, нестачі відповідних сил і засобів, але й відсутності належного методичного забезпечення заходів із запобігання надзвичайним ситуаціям техногенного характеру на об'єктах небезпечних виробництвах шляхом виявлення нафтопродуктів у ґрунтах та підземних водах.

Висновки за першим розділом

1. У провідних країнах світу дії рятувальних підрозділів із запобігання техногенним надзвичайним ситуаціям на об'єктах підвищеної небезпеки характеризуються своєчасним прибуттям та застосуванням сучасних засобів для ліквідації наслідків. Однак інертність адміністративних органів, відсутність варіативності в інструкціях і процедурах, а також відсутність методів швидкого виявлення зони поширення небезпек призводять до затримок в оповіщенні про існуючі небезпеки, затримок в евакуації і, як наслідок, до людських жертв.

2. Відсутність єдиної методологічної бази для дій рятувальних підрозділів у різних країнах європейського регіону призвело до людських втрат внаслідок надзвичайних ситуацій на небезпечних виробничих об'єктах у країнах Європейського Співтовариства.

3. Наслідки техногенних надзвичайних ситуацій на небезпечних виробництвах в Україні, як і в інших країнах, призводять до людських страждань. Це є наслідком не тільки відсутності своєчасного оповіщення, нестачі відповідних сил і засобів, але й відсутності належного методичного забезпечення заходів із запобігання надзвичайним ситуаціям техногенного характеру на об'єктах небезпечних виробництвах шляхом виявлення нафтопродуктів у ґрунтах та підземних водах.

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ПОПЕРЕДЖЕННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ НА НЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ'ЄКТАХ ХІМІЧНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ ЗА РАХУНОК ВПРОВАДЖЕННЯ QR-ТЕХНОЛОГІЇ ЗБЕРІГАННЯ ТА ВІДНОВЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ

Вирішувати друге завдання наукового дослідження щодо розробки інформаційної моделі попередження надзвичайних ситуацій на небезпечних об'єктах хімічної промисловості за рахунок впровадження QR – технології зберігання та відновлення інформації, будемо наступним чином. Спочатку розглянемо особливості процесу QR - управління надзвичайною ситуацією техногенного характеру на небезпечних об'єктах хімічної промисловості. Після чого розробимо інформаційну модель попередження надзвичайних ситуацій на небезпечних об'єктах хімічної промисловості за рахунок впровадження QR – технології зберігання та відновлення інформації.

2.1. Особливості процесу QR-управління надзвичайною ситуацією техногенного характеру на небезпечних об'єктах хімічної промисловості

Незважаючи на різноманітні заходи щодо запобігання техногенним катастрофам, їхня кількість поступово зростає. Ще одна негативна тенденція спостерігається щодо наслідків катастроф. Незважаючи на досить повільне зростання кількості самих катастроф, їх кількість стрімко збільшується. Це свідчить про те, що механізми виникнення НС та механізми поширення наслідків НС є різними і потребують чіткого методологічного розмежування. Припущення про наявність принципових відмінностей у вище згаданих

механізмах поширення дає можливість сформулювати сучасні та ефективні підходи до запобігання наслідкам НС. Слід зазначити, що такий підхід має враховувати сучасні особливості антропогенного, природного та соціального середовища, а саме домінуючий характер міст та інформаційно-комунікаційних технологій. Перша особливість полягає в тому, що осередки переважно антропогенних катастроф зосереджені в районах та установах, де проживає велика кількість людей. У цьому контексті антропогенний вплив є своєрідним каталізатором, який прискорює та посилює наслідки природних і техногенних катастроф. Тому сучасні методи управління НС повинні не тільки враховувати існуючі та змодельовані умови техногенних і природних загроз, але й враховувати (а де це оптимально - виключати) процес розповсюдження техногенних загроз. Друга особливість визначає сферу застосування сучасних можливостей і ставить на перше місце за ефективністю застосування методи і прийоми інформаційно-технологічного впливу, що дозволяють використовувати світові досягнення інформаційно-комунікаційних технологій на різних етапах управління НС.

Сфера застосування останніх полягає, по-перше, у повному забезпеченні потреб аварійно-рятувальних підрозділів (АРП); по-друге, у забезпеченні необхідного рівня конфіденційності інформації, яка може мати негативні соціальні наслідки; по-третє, у виключенні можливості втручання в управління готовністю до НС, шляхом забезпечення надійного рівня доступу до інформації спеціального призначення. Другий – передбачити наступне.

До цього часу питання цільового доступу при використанні QR-кодування не розглядалося, оскільки не було загальної концепції використання QR-кодування як технічної основи системи інформаційної підтримки дій для АРП з ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій. Тому зараз робляться активні спроби задовольнити специфічні потреби сектору управління надзвичайними ситуаціями шляхом використання QR-кодів для інформаційної підтримки рятувальних операцій у разі дорожньо-транспортної пригоди.

Ієрархія доступу до інформації в процесі управління QR-технологіями для ліквідації наслідків техногенних катастроф визначається набором правил відбору інформації (рис. 2.1) [131].

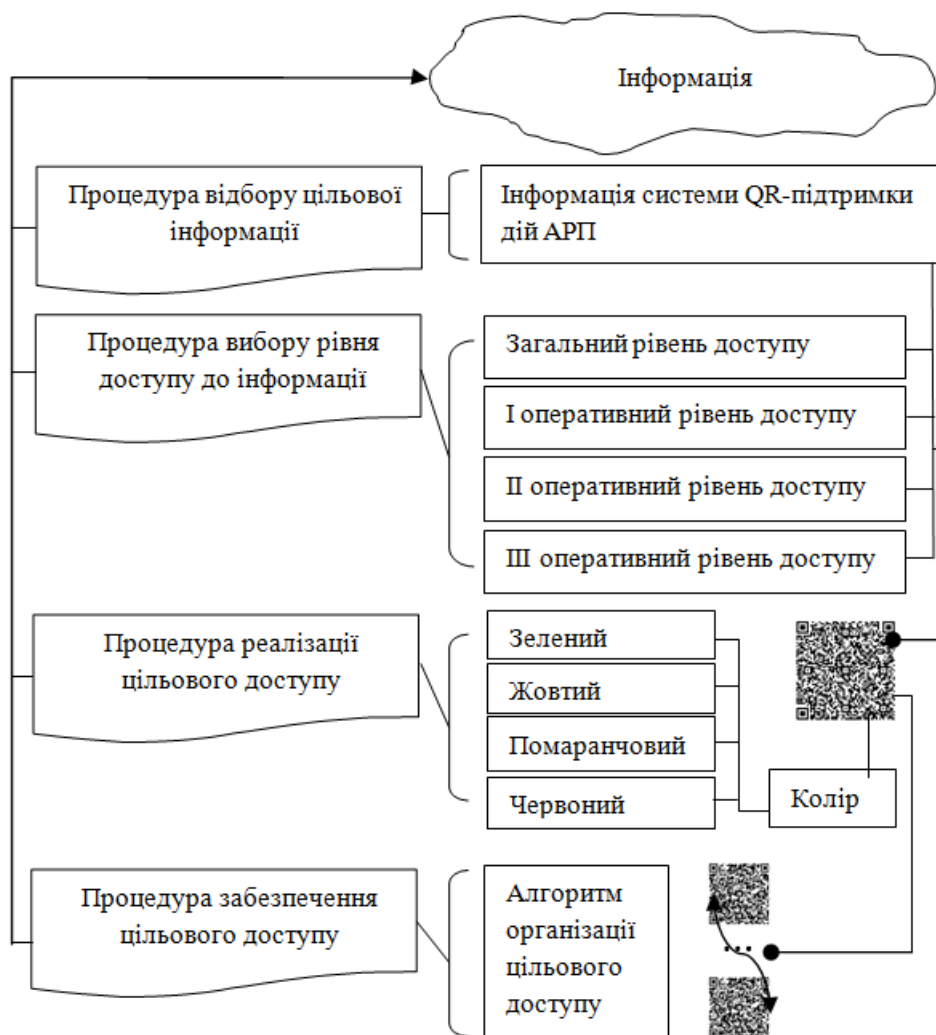


Рис. 2.1. Схема впливу основних правил відбору та зберігання інформації на формування ієрархії доступу до інформації.

Як базове положення для реалізації цільового доступу в процесі управління QR - кодами при промислових катастрофах, на основі всебічного попереднього аналізу [132], пропонується кольорове кодування QR - кодів з різними рівнями доступу до інформації АРП в процесі управління QR – кодами при промислових катастрофах. Правила кольорового кодування для

процесу управління QR – кодами при промислових катастрофах представлені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1.

Правила кольорової організації цільового доступу до інформації АРП у процесі QR-управління НС техногенного характеру на небезпечних об'єктах хімічної промисловості.

Рівень доступу (i)	Колір QR коду	Обмеження цільового доступу
1	зелений	без обмежень
2	жовтий	частково обмежений
3	помаранчевий	обмежений доступ
4	червоний	обмежений доступ

Запропонований підхід до реалізації цільового доступу в процесі управління НС техногенного характеру надає можливість використовувати стандартне сертифіковане програмне забезпечення на рівні загального доступу ($i=1$) та, з урахуванням вище зазначених цільових обмежень, об'єкти та спеціалізовані служби міста, ДСНС України модернізовано відповідно до потреб АРП.

Таким чином, враховуючи особливості процесу QR – управління надзвичайними ситуаціями, вдалося визначити систему правил відбору та доступу до цільової інформації в процесі управління надзвичайними ситуаціями. Отримані правила дозволили розробити структурно-логічну модель QR управління надзвичайними ситуаціями техногенного характеру на небезпечних об'єктах хімічної промисловості.

2.2. Інформаційна модель попередження надзвичайних ситуацій на небезпечних об'єктах хімічної промисловості за рахунок впровадження QR – технології зберігання та відновлення інформації

Розроблена сукупність правил, із забезпечення конфіденційності та ієрархії доступу до інформації процесу QR-управління надзвичайною ситуацією техногенного характеру, дозволяє у подальшому розробити інформаційну модель попередження надзвичайних ситуацій на небезпечних об'єктах хімічної промисловості за рахунок впровадження QR – технології зберігання та відновлення інформації.

В результаті відбору предметної інформації та впливу правил визначення її рівня конфіденційності сформовано чотирирівневу систему доступу з обмеженнями на обслуговування загального та індивідуального характеру. В результаті застосування правил реалізації доступу до предметної інформації в інформаційній моделі QR - управління надзвичайними ситуаціями техногенного характеру на небезпечних виробничих об'єктах запропоновано принцип кольорової ідентифікації рівня доступу до інформації в моделі. Результати впливу правил забезпечення адресного доступу знаходяться в області застосування інформаційної моделі QR – управління техногенними надзвичайними ситуаціями на небезпечних виробничих об'єктах, що максимально враховує потреби АРП на всіх рівнях доступу до інформації, та контролю за організацією доступу до інформації Це формування алгоритмів.

Відповідно, бажана інформаційна модель QR – управління надзвичайними ситуаціями техногенного характеру на небезпечних об'єктах хімічної промисловості наведена на рисунку 2.2 [133].

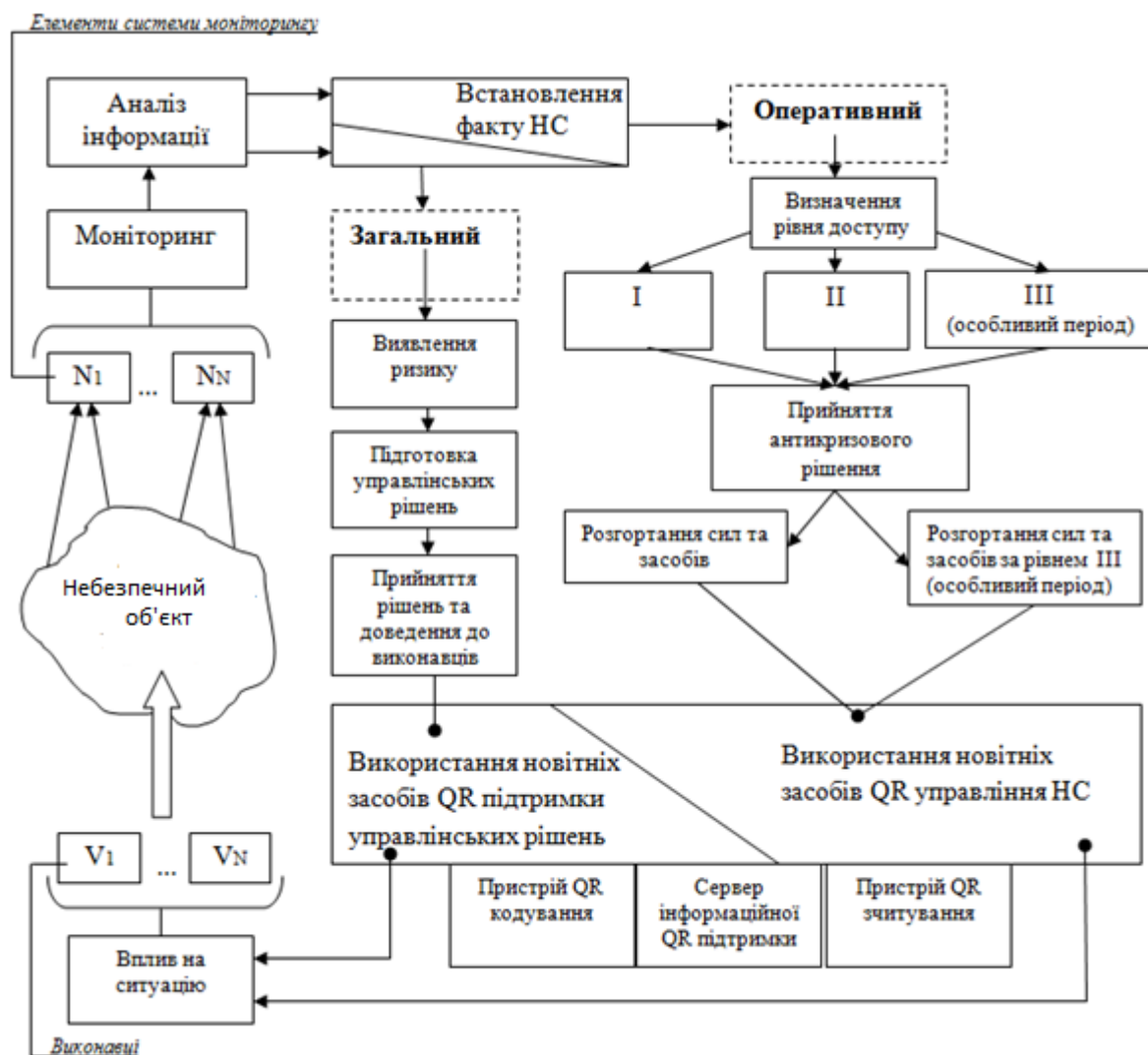


Рис. 2.2. Інформаційна модель попередження надзвичайних ситуацій на небезпечних об'єктах хімічної промисловості за рахунок впровадження QR – технології зберігання та відновлення інформації.

Основна мета управління надзвичайними ситуаціями промисловості за рахунок впровадження QR – технології зберігання та відновлення інформації запобігти катастрофам до того, як вони стануться, а якщо вони все ж таки сталися, то мінімізувати їх наслідки. Водночас, специфіка QR – технології зберігання та відновлення інформації в системах управління надзвичайними ситуаціями на небезпечних об'єктах хімічної промисловості включає детальне обстеження місцевості та моніторинг показників процесів з використанням різних форм даних, моделювання надзвичайної ситуації та

завчасну підготовку планів дій, безперервне навчання рятувального персоналу, нові QR – технології зберігання та відновлення інформації з інформаційного забезпечення та управління силами і засобами реагування на надзвичайні ситуації. Слід врахувати і підготовку до використання систем.

Як впливає з теорії управління, основним суб'єктом управління є командир аварійно-рятувального підрозділу, в зону відповідальності якого входить територія небезпечного об'єкту хімічної промисловості, а також директор відповідного підприємства, відповідальний за управління небезпечним виробничим об'єктом. Відповідно до сфери управління входить територія небезпечного об'єкту хімічної промисловості, житлові будинки, будівлі, інженерні споруди незалежно від форми власності, постійне населення та особи, які тимчасово перебувають на цю територію, домашні та дикі тварини, птахи тощо). У зв'язку з високою неминучістю виникнення катастрофічних подій та техногенних надзвичайних ситуацій на небезпечних виробництвах, інформаційна модель попередження надзвичайних ситуацій на небезпечних об'єктах хімічної промисловості за рахунок впровадження QR – технології зберігання та відновлення інформації включає два контури управління: перший-загальний та другий-оперативний [134].

Перший контур управління містить шість умовних блоків - моніторинг ситуації (збір рутинних факторів); аналіз інформації (виявлення ризиків екстремальних факторів); аналіз ризиків (прогнозування та моделювання НС); підготовка варіантів управлінських рішень; використання сучасних QR-технологій для підтримки прийняття управлінських рішень та доведення рішень до виконавців; вплив на ситуацію. Нижче наведені деякі з найбільш важливих аспектів QR-технології.

Як згадувалося раніше, плани використання рятувальних команд і рятувального обладнання та підготовки укриттів для людей і матеріальних цінностей розробляються заздалегідь для різних сценаріїв катастроф і після цього рятувальники вже практикують ці заходи в повсякденних ситуаціях.

Як тільки аналіз ризиків встановлює факт неминучості катастрофи (початок надзвичайної ситуації), починається друга оперативна фаза. Схема цієї фази показана на рисунку 2.2.

Схема складається з п'яти структурних блоків.

Перший блок встановлює факт виникнення НС.

Другий блок визначає рівень доступності інформації для QR – технології зберігання та відновлення останньої.

Третій блок – це блок, в якому приймається антикризове рішення про введення в дію одного з варіантів використання рятувальних сил і засобів.

Четвертий блок – це блок, який розгортає сили та засоби реагування на НС відповідно до рівнів, визначених у другому блоці.

П'ятий блок – це блок, який використовує новітні QR – технології для управління катастрофами.

Крім того, через структуру виконавців здійснюється вплив на об'єкти управління. Замикання контуру управління забезпечує безперервний процес управління з метою мінімізації наслідків надзвичайної ситуації.

Інформаційна модель попередження надзвичайних ситуацій на небезпечних об'єктах хімічної промисловості за рахунок впровадження QR – технології зберігання та відновлення інформації включає такі основні елементи та способи взаємодії (рис.2.3). Сервери обробки інформації, зчитувачі QR-кодів та прикладні пристрої, канали зв'язку на основі Інтернет - технологій.

Формування QR-кодів повинно здійснюватися з доступом до чотирьох рівнів інформації, від загального рівня (вільний доступ) до рівня інформації про оперативну організацію діяльності аварійно-рятувальних підрозділів в особливий період (інформація з обмеженим доступом). Описана вище процедура QR-кодування повністю реалізована лише для маркування небезпечних виробничих об'єктів. Соціальна та медична інформація про людей з особливими потребами та інвалідністю має лише перший рівень

доступу, що гарантує необхідний рівень конфіденційності та доступності для соціальних та медичних працівників.

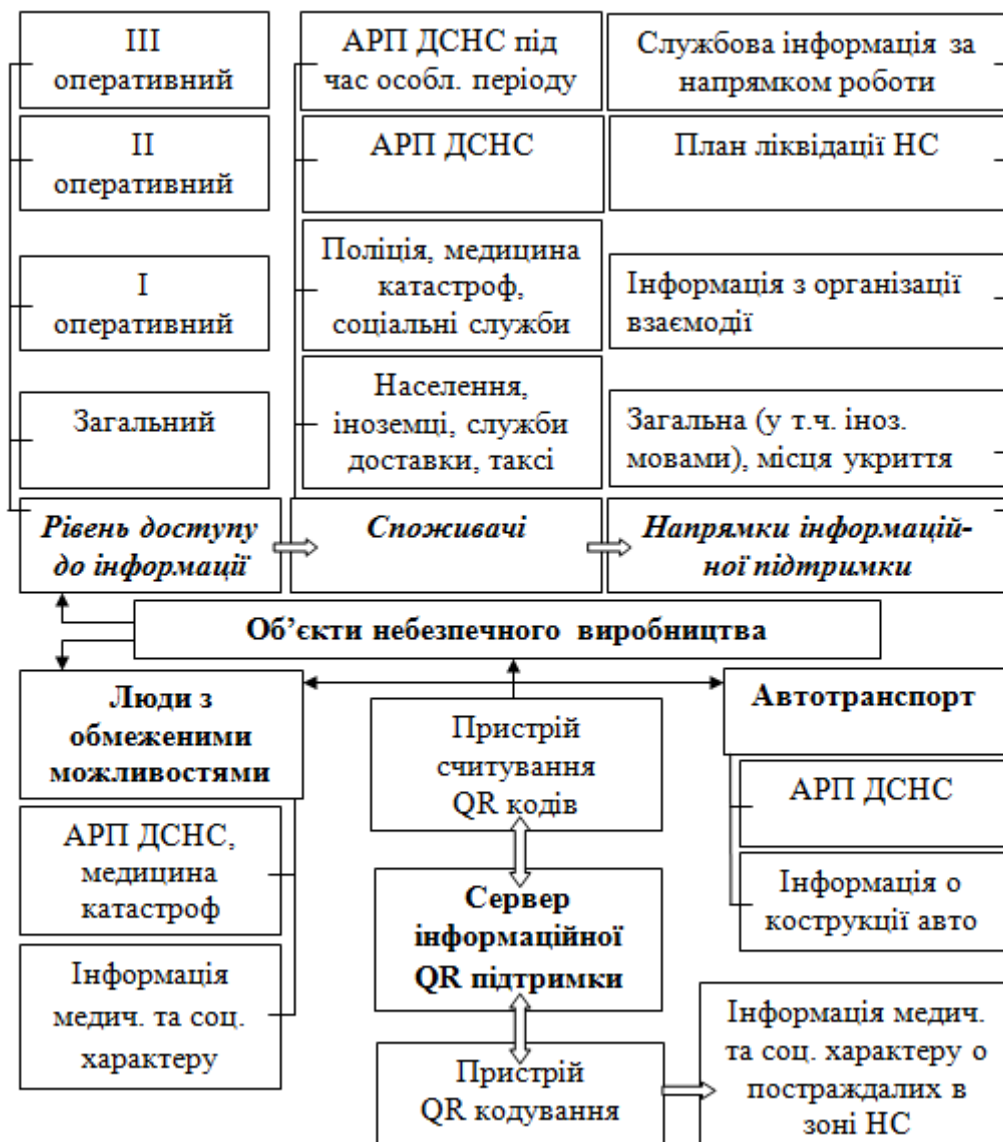


Рис. 2.3. Схема взаємодії елементів інформаційної моделі попередження надзвичайних ситуацій на небезпечних об'єктах хімічної промисловості за рахунок впровадження QR – технології зберігання та відновлення інформації.

Представлена схема взаємодії елементів інформаційної моделі попередження надзвичайних ситуацій на небезпечних об'єктах хімічної промисловості за рахунок впровадження QR – технології зберігання та

відновлення інформації в постраждалих районах ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій та подальшою ідентифікацією та інформаційним супроводом постраждалих в стаціонарних медичних закладах, направлених на подальше лікування. Він також має забезпечити можливість організації цього процесу. Такий підхід має кардинально підвищити ефективність процесу медичного сортування у випадку катастроф, які за короткий час охоплюють велику кількість постраждалих, більшість з яких потребують невідкладної медичної допомоги та евакуації із зони ураження [135].

Враховуючи вище зазначені вимоги до QR - кодування під час проведення аварійно-рятувальних операцій, можлива реалізація показана на рис. 2.4, де QR – коди мають різні рівні доступу до інформації, а для їх сканування та обробки може використовуватися стандартне обладнання, як показано на рис. 2.4.

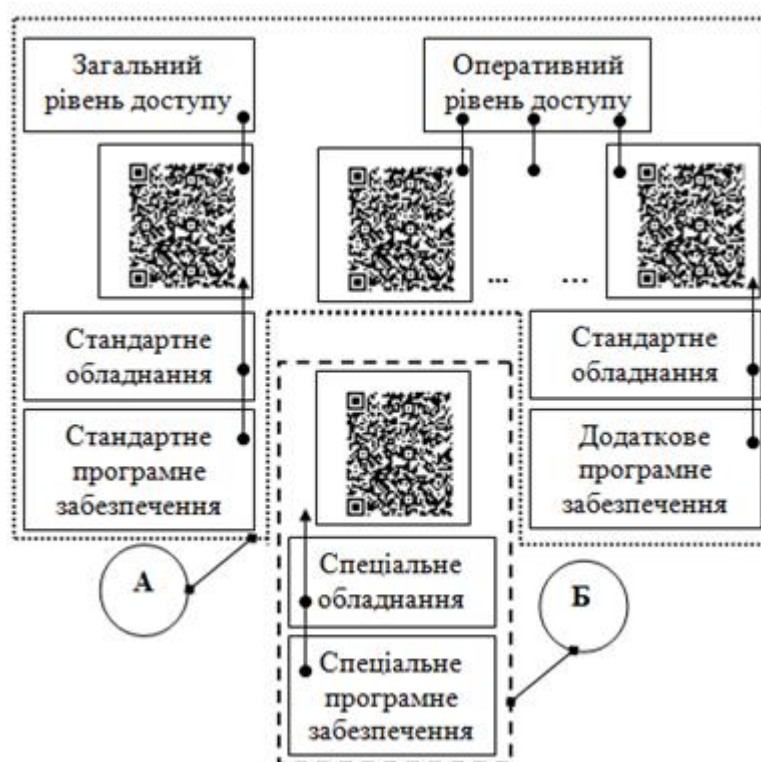


Рис. 2.4. Шляхи практичної інформаційної моделі попередження надзвичайних ситуацій на небезпечних об'єктах хімічної промисловості за рахунок впровадження QR – технології зберігання та відновлення інформації.

Вибірковість доступу до інформації на III оперативному рівні вирішується шляхом розробки та впровадження додаткового спеціального програмного забезпечення. Підхід (Б) передбачає новий рівень QR-кодування та забезпечення вибірковості доступу в структурі коду. Цей підхід передбачає розробку як спеціалізованого скануючого обладнання, так і спеціалізованого програмного забезпечення. Однак підхід (Б) зменшує загальну кількість QR-міток на об'єктах небезпечної виробничої інфраструктури.

Отримані результати у вигляді інформаційної моделі попередження надзвичайних ситуацій на небезпечних об'єктах хімічної промисловості за рахунок впровадження QR – технології зберігання та відновлення інформації можуть принципово змінити підхід до потенційного використання сучасних інформаційно-комунікаційних технологій в організації та проведенні робіт з подолання наслідків надзвичайних ситуацій техногенного характеру.

З одного боку, можливість позначення небезпечних виробничих об'єктів та місць перебування людей з обмеженими фізичними можливостями на QR підвищить оперативність передачі необхідної інформації з місця НС, усуне плутанину в географічних назвах, надасть додатковий час для організації заходів та знизить рівень інформаційної невизначеності для осіб, відповідальних за ліквідацію наслідків НС, при прийнятті управлінських рішень.

Враховуючи існування принципово різних підходів до можливостей реалізації інформаційних моделей попередження надзвичайних ситуацій на небезпечних об'єктах хімічної промисловості за рахунок впровадження QR – технології зберігання та відновлення інформації, специфіку міст та регіонів, зокрема планування об'єктів інфраструктури на небезпечних виробничих об'єктах, організацію діяльності та взаємодію аварійно-рятувальних формувань за різними напрямками діяльності, необхідно враховувати особливості міст та регіонів. З огляду на це, можна проводити подальший порівняльний аналіз та пропонувати варіанти імплементації.

Таким чином, інформаційна модель попередження надзвичайних ситуацій на небезпечних об'єктах хімічної промисловості з надлишковим техногенним навантаженням за рахунок впровадження QR – технології зберігання та відновлення інформації, складається з двох контурів управління загального контуру (традиційного) і оперативного контуру, який функціонує при загрозі настання надзвичайної ситуації. Він складається з п'яти блоків, а саме: встановлення факту початку надзвичайної ситуації, визначення рівня QR доступу до інформації, прийняття рішення щодо введення в дію одного з варіантів використання сил та засобів ліквідації надзвичайної ситуації, розгортання сил і засобів ліквідації надзвичайної ситуації у відповідності до рівня QR доступу визначеного у другому блоці, використання новітніх QR технологій управління надзвичайною ситуацією.

Висновки за другим розділом

1. Враховуючи особливості процесу QR – управління надзвичайними ситуаціями, вдалося визначити систему правил відбору та доступу до цільової інформації в процесі управління надзвичайними ситуаціями. Отримані правила дозволили розробити структурно-логічну модель QR управління надзвичайними ситуаціями техногенного характеру на небезпечних об'єктах хімічної промисловості.

2. Інформаційна модель попередження надзвичайних ситуацій на небезпечних об'єктах хімічної промисловості з надлишковим техногенним навантаженням за рахунок впровадження QR – технології зберігання та відновлення інформації, складається з двох контурів управління загального контуру (традиційного) і оперативного контуру, який функціонує при загрозі настання надзвичайної ситуації. Він складається з п'яти блоків, а саме: встановлення факту початку надзвичайної ситуації, визначення рівня QR доступу до інформації, прийняття рішення щодо введення в дію одного з варіантів використання сил та засобів ліквідації надзвичайної ситуації,

розгортання сил і засобів ліквідації надзвичайної ситуації у відповідності до рівня QR доступу визначеного у другому блоці, використання новітніх QR технологій управління надзвичайною ситуацією.

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПОПЕРЕДЖЕННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРУ НА ОБ'ЄКТАХ ХІМІЧНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ В УМОВАХ НАДЛИШКОВОГО ТЕХНОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ ШЛЯХОМ ІДЕНТИФІКАЦІЇ НЕБЕЗПЕКИ У ГРУНТАХ

Вирішувати третє наукове завдання з розробки математичної моделі попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження шляхом ідентифікації небезпеки у ґрунтах будемо наступним чином. В першу чергу, розглянемо основні фізико-хімічні процеси, що мають місце в ґрунтах на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження в процесі поширення надзвичайної ситуації; по-друге, розглянемо основні підходи до рішення задачі та сформулюємо граничні та початкові умови забезпечення процесу попередження надзвичайної ситуацій техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження. Після чого дамо опис формального рішення задачі попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження шляхом ідентифікації небезпеки у ґрунтах, яке є шуканою математичною моделлю.

3.1. Основні фізико-хімічні процеси, що мають місце в ґрунтах на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження в процесі поширення надзвичайної ситуації

Розглянемо основні фізико-хімічні процеси, які відбуваються у разі катастрофічної події на ґрунті на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження. Для цього зробимо кілька припущень, які зменшують варіаційну складність математичної задачі.

Перше припущення полягає в тому, що хімічно небезпечні сполуки в забруднюючих продуктах (i) не перевищують проникність води. Це дозволяє застосовувати диференціальне рівняння швидкості для води в порах ґрунту:

$$\frac{d^2 z}{dt^2} + \frac{m \cdot g}{k} \cdot \frac{z}{\Delta + (1-m)z} \cdot \frac{dz}{dt} - g = 0, \quad (3.1)$$

де: z – глибина проникнення забруднюючих продуктів в пори ґрунту за час t ;

m – ефективна пористість ґрунту,

g – прискорення вільного падіння,

k – коефіцієнт природної фільтрації ґрунту в межах території на об'єкті хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження,

Δ – тиск забруднюючих продуктів у початковій точці проникнення у ґрунт, що відповідає координатам джерела небезпеки.

Друге припущення пов'язане з тим, що в умовах надмірного промислового навантаження хімічний склад води, присутньої в ґрунті, зміниться, якщо небезпека збільшиться в результаті промислової аварії на хімічному промисловому об'єкті. Відповідний процес описується наступним рівнянням:

$$\frac{dC_i}{dt} = -K_i C_i^{-n_i}, \quad (3.2)$$

де: \bar{t} – час добігання процесу поширення хімічно-небезпечної сполуки в складі забруднюючих продуктів до мінімального водоносного горизонту, що визначає настання граничних умов (3.4) та обмежує подальше рішення математичної задачі;

K_i – константа швидкості процесу розповсюдження небезпечної сполуки в складі забруднюючих продуктів;

C_i – концентрація хімічно-небезпечної сполуки в складі забруднюючих продуктів в точці (x_0, y_0, z_0) ;

n_i – порядок процесу;

i – хімічно-небезпечна сполука в складі забруднюючих продуктів.

Константи швидкості, що відповідають процесам дифузії токсичних сполук у забруднюючих продуктах, розраховуються за рівнянням:

$$K_i = \left(\frac{1}{n_i - 1}\right) \cdot \left(\frac{1}{\xi_i^{n_i - 1}}\right) \cdot (C_{i0}^{n_i - 1} \cdot \bar{t})^{-1} \quad (3.3)$$

де: ξ_i – безрозмірний параметр, який визначається за виразом:

$$\xi_i = \frac{C_{i\bar{t}}}{C_{i0}}, \quad (3.4)$$

де: $C_{i\bar{t}}$ та C_{i0} – відповідно, концентрації i -ої хімічно-небезпечної сполуки у складі забруднюючих продуктів у довільній та початковій точках території поширення НС техногенного характеру на території об'єкту хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження.

Порядок поширення хімічно-небезпечної сполуки у складі забруднюючих продуктів (n_i) визначається за виразом:

$$n_i = [\alpha_i \cdot \lg(T + 1)]^2, \quad (3.5)$$

де: α_i – коефіцієнт, чисельне значення якого визначається кількістю експериментів;

T – температура водної витяжки ґрунту під час проведення експерименту.

Третє припущення пов'язане з консервативністю хімічно-небезпечних сполук у забруднюючих продуктах, що розглядаються, тобто вони не взаємодіють з іншими видами забруднень. Тому до рівнянь (3.1) - (3.5) можна застосувати π -теорему Букінгема, яка робить рівняння (3.1)-(3.5) безрозмірними.

Від так, коефіцієнт α_i можна отримати як функцію числа Фруда (Fr) за допомогою наступного рівняння:

$$\alpha_i = f(Fr). \quad (3.6)$$

Чисельне значення числа Фруда розраховується наступним чином:

$$Fr = \frac{v^2}{g \cdot H_{\text{ср}}}, \quad (3.7)$$

де: $H_{\text{ср}}$ – перепад між точками проведення експериментів на території об'єкту хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження визначається за виразом:

$$H_{\text{ср}} = \frac{(z_1 + z_2)}{2}, \quad (3.8)$$

де: z_1, z_2 – відповідні глибини проведення забору проб, g – прискорення вільного падіння.

Для подальшого визначення процесу розсіювання хімічно-небезпечних речовин у складі забруднюючих продуктів у ґрунті на території об'єкту хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження необхідно зробити наступні додаткові припущення.

1) Частинки не взаємодіють між собою. Для цього, очевидно, щільність частинок повинна бути досить низькою. Це означає, що швидкість частинок може змінюватися лише під впливом зовнішніх сил.

2) Початкові швидкості всіх частинок, що знаходяться в одному поперечному перерізі з координатами x , однакові і вздовж осі x .

3) Початкова густина частинки також залежить тільки від координати x .

4) Зовнішні сили, що діють на частинки, спрямовані вздовж осі x .

Це означає, що остання забезпечує одновимірний процес міграції, тобто тільки залежність шуканої густини потоку частинок від координати x і часу $t \geq 0$.

Отже, за заданою початковою щільністю $\rho(x, t = 0) = \rho_0(x)$ необхідно знайти щільність частинок $\rho(x, t)$ в будь-який момент часу для будь-яких x (швидкість руху $u(t)$ задана). У відповідності до рівняння збереження маси, баланс речовини в малому елементі ґрунту на території об'єкту небезпечного виробництва від x до $(x + dx)$ за час (dt) визначається виразом:

$$Su(t)dt p(x, t + \mu dt), \text{ за умови: } 0 \leq \mu \leq 1, \quad (3.9)$$

де: $Su(t)dt$ – об'єм речовини, що увійшов за проміжок часу (dt) .

З іншого боку, поперечний переріз елемента дає ту саму масу в той самий час:

$$-Su(t)dt p(x+dx, t + \mu' dt), \text{ за умови: } 0 \leq \mu \leq 1. \quad (3.10)$$

Це означає, що сумарна зміна маси мінорних елементів ґрунту (dm) в районі виробництва небезпечних речовин дорівнює:

$$dm = Su(t)dt (p(x,t + \mu dt) - p(x+dx,t + \mu' dt)) \quad (3.11)$$

Внаслідок незначного розміру проміжку dt можна вважати, що швидкість $u(t)$ є постійною. Величини $p(x, t + \mu dt)$ і $p(x+dx, t + \mu' dt)$ - середні за часом значення щільності в перетинах x і $(x + dx)$.

Інший спосіб підрахунку змін у фіксованому обсязі Sdx :

$$dm = Sdx (p(x + \eta dx, t + dt) - p(x + \eta' dx, t)), \quad 0 < \eta, \eta' < 1, \quad (3.12)$$

де: $p(x + \eta dx, t + dt) - p(x + \eta' dx, t)$ - середні за простором значення щільності в моменти часу поширення небезпеки t і $(t + dt)$.

Прирівнявши обидва вирази для dm і прирівнявши dx і dt до нуля, отримаємо вираз для $p(x, t)$, що відповідає закону збереження маси:

$$\frac{\delta p}{\delta t} + \frac{\delta p}{\delta x} u(t) = 0, \quad -\infty < x < \infty, t > 0 \quad (3.13)$$

За умови:

$$\rho(x, 0) = \rho_0(x), \quad -\infty < x < \infty \quad (3.14)$$

Величина ρu (матеріальний потік) дорівнює кількості матеріалу, що проходить через одиничний поперечний переріз малого елемента ґрунту в зоні виробництва небезпечної речовини за одиницю часу. Видно, що швидкість зміни щільності забруднюючих речовин у будь-якому перерізі з часом визначається "швидкістю зміни" матеріального потоку вздовж горизонтальної координати x .

За умови постійної швидкості, а саме $u(t) = u_0$ приходимо до лінійного рівняння в часткових похідних – рівняння переносу:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho}{\partial x} u_0 = 0, \quad -\infty < x < \infty, t > 0. \quad (3.15)$$

Враховуючи, що в рівнянні (3.15) значення функції в точках лінії $x = u_0 t + D$ є постійним в часі, від так виконується вираз:

$$\rho(x, t) = \rho(x + u_0(t - t_0), t_0), \quad t - t_0 \geq 0. \quad (3.16)$$

У разі $t_0 = 0$ отримаємо вираз:

$$\rho(x, t) = \rho(\mu) = \rho(x + u_0 t), \quad (3.17)$$

що є рішенням рівняння переносу (3.15).

Рівняння (3.17) залежить від комбінації $\mu = x + u_0 t$, і може бути модифіковане різними способами залежно від часу або щільності ґрунту ($u = u(p)$).

У ситуаціях широкомасштабних техногенних аварій на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження внаслідок забруднення ґрунту баланс мас речовин також враховує гравітаційний режим руху ґрунтових вод. Від так, в умовах, коли забруднюючі речовини далі просочуються в ґрунті відбувається їх накопичення, можна говорити про гравітаційний режим руху підземних вод.

Пористе середовище – це шар проникного матеріалу (пісок, глина), оточений знизу непроникною породою, а зверху - поверхнею землі. Як що десь у шарі змінюється рівень ґрунтових вод внаслідок випадання великої кількості опадів або стікання (і накопичення) токсичних речовин, рідина починає рухатися під дією сили тяжіння і вільна поверхня вирівнюється.

У таких випадках матеріальний баланс забруднюючих речовину складі забруднюючих продуктів у ґрунті виражається наступними взаємопов'язаними рівняннями.

Кількість рідини, що надходить і витікає через бічну поверхню малого елемента ґрунту протягом певного часу dt , визначається наступним рівнянням:

$$pu(H + h)dydt. \quad (3.18)$$

Відповідно через загальний перетин виходить маса води яка визначається виразом:

$$pu(H + h)dydt + \left\{ \frac{\delta}{\delta x} [pu(H + h)] dx \right\} dydt, \quad (3.19)$$

де: $pu(H+h)$ - потоку хімічно-небезпечної речовини у складі забруднюючих продуктів.

Іншими словами, накопичення водних мас в наслідок переміщення токсичних речовин забруднюючих продуктів в елементах ґрунту вздовж осі x аварійної дифузії можна описати рівнянням:

$$-\frac{\delta}{\delta x} [pu(H+h)] dx dy dt. \quad (3.20)$$

Цей підхід дозволяє визначити зміну маси води внаслідок руху вздовж осі при поширенні професійних ризиків на небезпечних виробничих об'єктах:

$$-\frac{\delta}{\delta y} [pv(H+h)] dx dy dt \quad (3.21)$$

Оскільки умови існування розв'язку математичної задачі виконуються, то існування рівнянь (3.20) і (3.21) гарантується на певній відстані від поверхні ґрунту і $z = \text{const}$.

Від так, зміна в часі маси води в малому елементі ґрунту на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження, dt , може бути визначена наступним рівнянням:

$$\left\{ \frac{\delta}{\delta t} [mp(H+h)] dx dy \right\} dt. \quad (3.22)$$

Якщо враховувати, що $\delta H / \delta t \equiv 0$ та $\delta p / \delta t \equiv 0$, то далі маємо вираз:

$$mp \frac{\delta h}{\delta t} dx dy dt. \quad (3.23)$$

Прирівнювання рівнянь (3.19) і (3.23) дає рівняння (3.24), яке визначає процес збереження маси донорського елемента в зоні об'єкту хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження:

$$m \frac{\delta h}{\delta t} = - \frac{\delta}{\delta x} [p u (H + h)] - \frac{\delta}{\delta y} [p v (H + h)]. \quad (3.24)$$

Враховуючи, що $\delta p / \delta x \equiv 0$ та $\delta p / \delta y \equiv 0$, вираз (3.24) має вигляд:

$$m \frac{\delta h}{\delta t} = - \frac{\delta}{\delta x} [u (H + h)] - \frac{\delta}{\delta y} [v (H + h)]. \quad (3.25)$$

Для подальшого розгляду процесу збереження маси в елементі ґрунту об'єкту хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження використаємо закон Дарсі, за яким u та v визначаються виразами:

$$u = -\varphi \frac{\delta p}{\delta x}, \quad v = -\varphi \frac{\delta p}{\delta y} \quad (3.26)$$

де: $p(x, y, z, t)$ – тиск в рідині, $\varphi > 0$ - коефіцієнт, що визначається властивостями ґрунту.

Припускаючи, що рідина тече повільно і майже горизонтально, динамічною складовою тиску можна знехтувати і розраховувати його як тиск, що створюється стовпом рідини згідно з рівнянням:

$$p(x, y, z, t) = \rho g(h(x, y, t) - z) + K, \quad (3.27)$$

де: $K = \text{const}$, тиск на поверхні рідини, g – прискорення вільного падіння.

Тоді маємо, що u та v визначаються виразами:

$$u = -\varphi \rho g \frac{\delta h}{\delta x}, \quad v = -\varphi \rho g \frac{\delta h}{\delta y} \quad (3.28)$$

Надалі з виразів (3.27) та (3.28) отримуємо вираз який описує рух ґрунтових вод:

$$\frac{\delta h}{\delta t} = k \frac{\delta}{\delta x} \left[(H(x, y) + h) \frac{\delta h}{\delta x} \right] + k \frac{\delta}{\delta y} \left[(H(x, y) + h) \frac{\delta h}{\delta y} \right], \quad (3.29)$$

де: $k = \frac{\varphi \rho g}{\mu}$, та має місце лише одна невідома функція $h(x, y, t)$.

Розглядаючи рівняння (3.3), отримуємо вираз для процесу дифузії домішок у рідинах, що входять до складу ґрунту в районі об'єкту хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження:

:

$$Q(x,y,t) = C(H+h) + \frac{\delta}{z} [C(H+h)u] + k \frac{\delta}{z} [C(H+h)v], \quad (3.30)$$

де: $C(x,t)$ концентрація домішок, яку шукають; $Q(x,y,t)$ – інтенсивність джерела забруднення,

У разі існування виразу для u та v у вигляді:

$$u = -v \frac{\delta h}{z}, \quad v = -v \frac{\delta h}{z}, \quad v = \varphi p g. \quad (3.31)$$

Вираз (3.30) приймає вигляд :

$$Q(x,y,t) = \frac{\delta}{z} [C(H+h)] - v \frac{\delta}{z} [C(H+h) \frac{\delta h}{z}] - v \frac{\delta}{z} [C(H+h) \frac{\delta h}{z}]. \quad (3.32)$$

Для отримання відповіді на математичну задачу наведене вище рівняння слід доповнити рівнянням, що описує процес ідентифікації небезпеки накопичення хімічно-небезпечних речовин у забруднюючих продуктах шляхом визначення динаміки зміни в часі коефіцієнта електропровідності ($x_{mdl}(t)$) ґрунту в діапазоні небезпеки.

Електропровідність є загальною характеристикою загального вмісту розчинних речовин у розчині і пов'язана з мінералізацією через коефіцієнт 0,55-0,75, який підбирається емпірично залежно від типу води.

Дослідження цього процесу включає наступні операції: вимірювання електропровідності вихідного розчину, послідовне розведення

досліджуваного розчину, вимірювання питомої електропровідності після кожного розведення, встановлення залежності "розведення n -обернена електропровідність розчину" і розрахунок коефіцієнта ідентифікації (K_{Id}) як тангенса кута нахилу цієї залежності. Питома електропровідність не розбавленого розчину та (K_{Id}) використовуються для ідентифікації зразка водного розчину. Цей підхід є екологічно чистим і простим у виконанні, оскільки в якості розчинника використовується дистильована вода і непотрібно ніяких додаткових реагентів.

Характеристикою похибки при визначенні питомої провідності та коефіцієнта ідентифікації є відносне стандартне відхилення S_r , розраховане з імовірністю $P= 0,95$.

Середнє значення величини x_{mdl} визначається виразом:

$$x_{mdl} = \frac{\sum_{i=1}^m x_i}{m}, \quad (3.33)$$

де: x_i – одиничне значення досліджуваної величини (питомої електропровідності (мкСм/см) або коефіцієнту ідентифікації); m - кількість одиничних визначень i для однієї проби.

Враховуючи те, що питома електропровідність (κ , См/см) являє собою величину, що зворотно пропорційна опору розчину відповідно до виразу:

$$\kappa = \frac{l}{SR}, \quad (3.34)$$

де: l - відстань між електродами, см; S - площа електродів, см²; R - опір розчину, Ом,

Від так значення мінералізації (сумарного солемісту) C (мг/дм³), можна розрахувати з використанням питомої електропровідності α (мкСм/см) і навпаки. Вони пов'язані рівнянням:

$$\alpha = A \times C, \quad (3.35)$$

де: A – числовий коефіцієнт, що залежить від типу вод ґрунту на території об'єкту небезпечного виробництва, який лежить у межах $A = (0,55 \div 0,75)$.

Від так, зміни значення коефіцієнта електропровідності дозволяють додатково ідентифікувати небезпеку на території небезпечних виробничих об'єктів та застосовувати граничні умови для розширення зони надзвичайної ситуації.

Таким чином, при виникненні катастрофи внаслідок потрапляння хімічно-небезпечних сполук до складу забруднюючих продуктів можна розглянути основні фізико-хімічні процеси, що відбуваються на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження, зменшивши таким чином варіаційну складність математичної задачі та дозволивши аналітично оцінити їх вплив на навколишнє природне середовище. Можна сформулювати низку припущень, які дозволять визначити залежності, а саме: процесу трансформації гідрохімічного складу води в елементах; процесу руху води в осередку поширення надзвичайної ситуації техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження.

3.2. Основні підходи до рішення задачі попередження надзвичайної ситуацій техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження, формування граничних та початкових умови забезпечення процесу попередження

В якості функціональної основи математичної моделі розглядаються граничні умови та початкові умови для забезпечення процесу запобігання надзвичайних ситуацій техногенного характеру, спричинених дифузією хімічно-небезпечних сполук у ґрунті на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження.

Ці умови автоматично призводять до поширення НС міського рівня в ситуаціях, коли на території є висока концентрація технічних об'єктів, і до поширення НС регіонального рівня у випадку, коли міські території прилягають до виробничих територій.

Виходячи з сучасних теоретичних положень щодо визначення рівня дифузії НС за пріоритетними групами наслідків [136], які визначають рівень поширення НС, можна констатувати, що домінуючим наслідком поширення НС в даному випадку є q_1 -поширення хімічно-небезпечних речовин, що містяться в забруднюючих продуктах, на територію або з території об'єктів хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження можна констатувати наступне. Наслідками похідного порядку, тобто другого порядку, є q_{21} – кількість загиблих, q_{22} – кількість поранених і q_{23} – кількість людей, умови життєдіяльності яких порушені, що утворюють першу групу граничних умов (3.36).

$$\begin{cases} q_{21}(t) = f_{21}(q_1, t) \leq q_{21}^{0\bar{6}} \\ q_{22}(t) = f_{22}(q_1, t) \leq q_{22}^{0\bar{6}}, \\ q_{23} = f_{23}(q_1, t) \leq q_{23}^{0\bar{6}} \end{cases} \quad (3.36)$$

де: $q_{21}^{об}$, $q_{22}^{об}$, $q_{23}^{об}$ – кількість загиблих, максимально допустима кількість поранених та людей з порушеними умовами життєдіяльності в наслідок НС, що визначають її об'єктовий рівень поширення;

f_{21} , f_{22} та f_{23} - відповідні відображення процесу зростання наслідків першої похідної групи.

Наступні наслідки НС формують граничні умови другої похідної групи (3.37) та складаються з q_{31} – прямих збитків від НС, q_{32} – непрямих збитків від НС, а саме:

$$\begin{cases} q_{31}^{об} \leq q_{31} = f_{31}(q_1, q_{21}, q_{22}, q_{23}, t) \leq q_{3.2}^{міс}, \\ q_{32}^{об} \leq q_{32} = f_{32}(q_1, q_{21}, q_{22}, q_{23}, t) \leq q_{3.3}^{міс} \end{cases}, \quad (3.37)$$

де: $q_{31}^{об}$, $q_{32}^{об}$, $q_{3.2}^{міс}$, $q_{3.3}^{міс}$ – граничні межі (об'єктового та місцевого рівнів) поширення наслідків НС техногенного характеру на небезпечному виробництві;

f_{31} , f_{32} - відображення процесу зростання наслідків другої похідної групи.

Початковою умовою для виникнення катастрофічної події є надмірна присутність сполуки $\rho_{неб}$ яка є хімічно токсичною і має ненульові рівні у складі забруднюючих продуктів у поверхневих ґрунтах:

$$0 \leq \rho_{неб}^i(x_0, y_0, z_0, t), \quad (3.38)$$

де: x_0 , y_0 , z_0 – початкові координати джерела забруднення;

i – хімічно-небезпечна сполука, яка виявлена в ґрунті на об'єкті хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження

Як, що цей показник i сполуки рівень гранично допустимої концентрації (ГДК) небезпечної сполуки перевищуються, то це вважається початком надзвичайної ситуації.

Далі слід зазначити, що бажаний результат q_1 , який визначає характер надзвичайної ситуації та рівень поширення, відображає координати джерела небезпеки та зміну в часі коефіцієнта електропровідності ґрунту ($x_{mdl}(t)$) в межах дифузії небезпеки.

На практиці ми говоримо не про площу, а про об'єм поширення небезпеки. Як наслідок, додається гранична умова поширення (3.39):

$$z_0 \leq q_1(z, x_{mdl}(t)) < z_{\text{в.гор}}^{\min}, \quad (3.39)$$

де: $z_{\text{в.гор}}^{\min}$ – глибина залягання ґрунтових вод в межах об'єкта хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження.

Сформовані граничні та початкові умови (3.36) – (3.39) слід доповнити умовами формування процесу QR-управління на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження.

Зауважимо, що інформаційний простір $\Psi(I_{QR})$ процесу QR-управління НС техногенного характеру є частиною загального інформаційного простору $\Psi(I)$, і як наслідок справедливе ствердження (3.40):

$$\Psi(I_{QR}) \in \Psi(I). \quad (3.40)$$

З урахуванням обмеження ємності Φ_{QR} інформаційного простору QR - процесу запобігання катастрофам (визначається технічною можливістю Φ_{QR}^{\max}

розмістити інформацію в межах одного коду, має підстави наступне співвідношення (3.41):

$$\Phi_{QR}^i \leq \Phi_{QR}^{\max}, \quad (3.41)$$

де: Φ_{QR}^i - інформаційна ємність одного коду.

Або обмеженням ємності інфраструктурного елементу системи QR-підтримки, яка визначається співвідношенням (3.42):

$$\sum_{i=1}^4 \Phi_{QR}^{ij} < 4\Phi_{QR}^{\max}; (j = 1..m), \quad (3.42)$$

де: Φ_{QR}^{ij} - інформаційна ємність коду різного рівня доступу ($i = 1..4$) для j об'єкту в межах можливої зони управління НС техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження

Слід зазначити, що за умов максимального заповнення не використовується повна інформаційна ємність j -об'єкта. Це визначає перше обмеження цільової умови доступу, тобто (3.43):

$$\Phi_{QR}^1 \geq \Phi_{QR}^2 > \Phi_{QR}^3 \geq \Phi_{QR}^4. \quad (3.43)$$

Умова (3.43) є наслідком рівняння (3.44), яке задовольняє інформаційний простір QR процесу управління техногенними катастрофами:

$$\Psi(I_{QR}) = f_{QR}(I_{QR}^{АПП}, I_{QR}^1, \dots, I_{QR}^n), \quad (3.44)$$

де: $I_{QR}^{АПП}$ - інформація, яка використовується в процесі QR - управління НС техногенного характеру в інтересах АРП;

$I_{QR}^1, \dots, I_{QR}^n$ - інформація, яка може бути використана в процесі QR – менеджменту катастроф для допомоги іншим екстреним службам та службам соціальної підтримки людей у постійних і тимчасових зонах управління катастрофами.

Від так, умови для правильного відбору інформації в процесі QR-управління при промислових катастрофах є наступними (3.45):

$$4\Phi_{QR}^{\max} > \sum_{i=1}^4 \begin{cases} I_{QR}^{AP\Pi} \rightarrow I_{QR\max}^i \\ I_{QR}^1 \rightarrow I_{QR\max}^{1i} \\ \vdots \\ I_{QR}^n \rightarrow I_{QR\max}^{ni} \end{cases} \quad (3.45)$$

за умови, що рівняння Харкевича-Бонгарда, щодо цінності розміщеної, в системі QR-управління НС техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження, інформації приймає вигляд (3.46):

$$\Psi(I_{QR}) = \log_2 \frac{P}{p}, \quad (3.46)$$

де: P - вірогідність досягнення мети після отримання інформації, яка розміщена в системі QR-управління на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження;

p - відповідно вірогідність досягнення мети до отримання відповідної інформації, виконується за сценарієм (3.47):

$$\begin{cases} P_{QR}^{AP\Pi} \rightarrow 1 \\ P_{QR}^1 \rightarrow \max \\ \vdots \\ P_{QR}^n \rightarrow \max \end{cases}, \quad (3.47)$$

де: $P_{QR}^{AP\Pi}$ - вірогідність досягнення мети дій за призначенням АРПІ;

$P_{QR}^1 \dots P_{QR}^n$ - вірогідність досягнення мети дій в умовах отримання інформації з системи QR-управління НС техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження іншими аварійними службами та пересічними громадянами.

Від так маємо наступну умову розміщення цільової інформації в системі QR-управління НС техногенного характеру, а саме (3.48):

$$\begin{cases} P_{QR}^{AP\Pi} \rightarrow 1 \\ p^{(1..n)i} \leq P_{QR}^{(1..n)i} \rightarrow \max \end{cases} \quad (3.48)$$

Умова (3.48) може бути модифікована, якщо змінити концепцію адресної інформаційної підтримки на пріоритетність соціальних послуг.

Останнє варто розглянути в рамках окремого дослідження, враховуючи, наприклад, особливості надання підтримки в містах з різною чисельністю населення та щільністю потенційно небезпечних і критично важливих об'єктів міської інфраструктури [137].

Результат застосування умов відбору цільової інформації процесу QR-управління НС техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження наведено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1.

Структура наповнення елементів процесу QR-управління НС техногенного характеру з метою забезпечення дій за призначенням АРП на j об'єкті хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження його зони відповідальності.

Рівень доступу (i)	Склад інформаційного простору $\Psi(I_{QR}^i)$	Рівень взаємодії з елемента системи
1	$I_{QR}^{АРП1}, I_{QR}^{11}, \dots, I_{QR}^{n1}$	Взаємодія по горизонталі в межах рівня
2	$I_{QR}^{АРП2}, I_{QR}^{21}, \dots, I_{QR}^{n2}$	Взаємодія по горизонталі в межах рівня та по вертикалі в межах рівня 1-2
3	$I_{QR}^{АРП3}, I_{QR}^{13}, \dots, I_{QR}^{n3} = 0$	Взаємодія по горизонталі в межах рівня та по вертикалі в межах рівня 1-3
4	$I_{QR}^{АРП4}, I_{QR}^{14}, \dots, I_{QR}^{n4} = 0$	Взаємодія по горизонталі в межах рівня та по вертикалі в межах системи

Від так вирази (3.40)-(3.42), (3.44)-(3.47) складають систему умов відбору цільової інформації процесу QR-управління НС техногенного характеру. Відповідно вирази (3.43), (3.48) є правилами забезпечення

цільового доступу до інформації АРП у процесі QR-управління НС техногенного характеру.

Від так, рівняння (3.40)-(3.42) та (3.44)-(3.47) складають систему умов для відбору цільової інформації в процесі QR-управління НС техногенного характеру. Відповідно, рівняння (3.43), (3.48) є правилами для забезпечення доступу до інформації АРП в процесі управління на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження

Таким чином, рішення математичної задачі визначається двома групами граничних умов, які формуються як відповідні обмеження похідних наслідків надзвичайної ситуації на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження, а саме наслідків першої похідної групи, як-то: кількості жертв, кількості постраждалих, кількості осіб з порушеними умовами життєдіяльності до території та часу поширення зони надзвичайної ситуації, наслідків другої похідної групи, а саме: прямих і непрямих збитків по відношенню до території, часу поширення та наслідкам першої похідної групи надзвичайної ситуації. Початок останньої, як похідної від катастрофічної події, що мала місце на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження, визначається початковими та інформаційними умовами, які є відображенням координат джерела небезпеки, зміни коефіцієнту електропровідності ґрунту на території об'єкту хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження та функціонування системи QR-управління.

3.3. Опис формального рішення задачі – математичної моделі попередження надзвичайної ситуації техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження шляхом ідентифікації небезпеки у ґрунтах

Як обговорювалося раніше в розділі 3.1, процес зміни хімічного складу ґрунтових вод з часом і концентрацією хімічної небезпеки від забруднюючих

продуктів на території, де сталася надзвичайна ситуація, описується залежним рівнянням (3.2):

$$\frac{dC_i}{dt} = -K_i C_i^{-n_i}.$$

Враховуючи залежність руху води в осередку поширення НС скрізь елемент ґрунту поверхні в зоні об'єкту хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження в залежності від часу початку катастрофічної події (3.29), а саме

$$\frac{\delta h}{\delta t} = k \frac{\delta}{\delta x} \left[(H(x,y) + h) \frac{\delta h}{\delta x} \right] + k \frac{\delta}{\delta y} \left[(H(x,y) + h) \frac{\delta h}{\delta y} \right],$$

Залежність процесу розповсюдження хімічно-небезпечних домішок у складі забруднюючих продуктів в елементі ґрунту в зоні поширення НС на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження (3.32):

$$Q(x,y,t) = \frac{\delta}{\delta x} [C(H+h)] - v \frac{\delta}{\delta x} \left[C(H+h) \frac{\delta h}{\delta x} \right] - v \frac{\delta}{\delta y} \left[C(H+h) \frac{\delta h}{\delta y} \right]$$

Залежність з визначення коефіцієнту електропровідності проби ґрунту на території на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження від вмісту хімічно-небезпечних речовин зі складу забруднюючих продуктів, що визначають опір розчину (3.33) та (3.34):

$$x_{mdl} = \frac{\sum_{i=1}^m x_i}{m}$$

$$\alpha = \frac{l}{SR}$$

Шукана математична модель складається із граничних (3.36), (3.37), (3.39), початкових (3.38) умов її існування та граничних умов організації процесу QR-управління (3.47) та (3.48) у вигляді (3.49):

$$\left\{ \begin{array}{l}
 q_{21}(t) = f_{21}(q_1, t) \leq q_{21}^{06}; \\
 q_{22}(t) = f_{22}(q_1, t) \leq q_{22}^{06}; \\
 q_{23} = f_{23}(q_1, t) \leq q_{23}^{06}; \\
 q_{31}^{06} \leq q_{31} = f_{31}(q_1, q_{21}, q_{22}, q_{23}, t) \leq q_{3.2}^{mic}; \\
 q_{32}^{06} \leq q_{32} = f_{32}(q_1, q_{21}, q_{22}, q_{23}, t) \leq q_{3.3}^{mic}; \\
 z_0 \leq q_1(z, x_{mdl}(t)) < z_{B,rop}^{min}; \\
 0 \leq \rho_{не0}^i(x_0, y, z_0, t); \\
 \left[\begin{array}{l}
 P_{QR}^{API} \rightarrow 1 \\
 P_{QR}^1 \rightarrow \max \\
 \vdots \\
 P_{QR}^n \rightarrow \max
 \end{array} \right. , \\
 \left[\begin{array}{l}
 P_{QR}^{API} \rightarrow 1 \\
 p^{(1..n)i} \leq P_{QR}^{(1..n)i} \rightarrow \max
 \end{array} \right.
 \end{array} \right. \quad (3.49)$$

та системи аналітичних залежностей (3.2), (3.29), (3.32), (3.33) та (3.34):

$$\left\{ \begin{array}{l}
 \frac{dc_i}{dt} = -K_i C_i^{-n_i}; \\
 \frac{\delta h}{\delta t} = k \frac{\delta}{\delta x} \left[(H(x, y) + h) \frac{\delta h}{\delta x} \right] + k \frac{\delta}{\delta y} \left[(H(x, y) + h) \frac{\delta h}{\delta y} \right]; \\
 Q(x, y, t) = \frac{\delta}{\delta t} [C(H + h)] - v \frac{\delta}{\delta x} \left[C(H + h) \frac{\delta h}{\delta x} \right] - v \frac{\delta}{\delta y} \left[C(H + h) \frac{\delta h}{\delta y} \right]; \\
 x_{mdl} = \frac{\sum_{i=1}^m x_i}{m} \\
 \alpha = \frac{l}{SR}
 \end{array} \right. \quad (3.50)$$

що забезпечує попередження надзвичайної ситуації техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження шляхом ідентифікації забруднюючих продуктів у ґрунтах.

Таким чином, математична модель попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження шляхом ідентифікації небезпеки у ґрунтах являє собою систему з п'яти аналітичних залежностей. Перша аналітична залежність описує процес трансформації гідрохімічного складу води в елементах ґрунту від часу та концентрації хімічно-небезпечної речовини зі складу забруднюючих продуктів. Друга – встановлює залежність руху води в ґрунті на території поширення небезпеки від часу катастрофічної події. Третя – визначає залежність розповсюдження хімічно-небезпечних речовин зі складу забруднюючих продуктів в елементах ґрунту в залежності від часу та інтенсивності впливу забруднюючих продуктів на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження. Четверта та п'ята залежності дозволяють визначити зміни коефіцієнту електропровідності проби ґрунту на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження в залежності від вмісту забруднюючих продуктів.

Висновки за третім розділом

1. При виникненні катастрофи внаслідок потрапляння хімічно-небезпечних сполук до складу забруднюючих продуктів можна розглянути основні фізико-хімічні процеси, що відбуваються на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження, зменшивши таким чином варіаційну складність математичної задачі та дозволивши аналітично оцінити їх вплив на навколишнє природне середовище. Можна сформулювати низку припущень, які дозволять визначити залежності, а саме: процесу трансформації гідрохімічного складу води в елементах; процесу руху води в осередку поширення надзвичайної ситуації техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження.

2. Рішення математичної задачі визначається двома групами граничних умов, які формуються як відповідні обмеження похідних наслідків надзвичайної ситуації на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження, а саме наслідків першої похідної групи, як-то: кількості жертв, кількості постраждалих, кількості осіб з порушеними умовами життєдіяльності до території та часу поширення зони надзвичайної ситуації, наслідків другої похідної групи, а саме: прямих і непрямих збитків по відношенню до території, часу поширення та наслідкам першої похідної групи надзвичайної ситуації. Початок останньої, як похідної від катастрофічної події, що мала місце на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження, визначається початковими та інформаційними умовами, які є відображенням координат джерела небезпеки, зміни коефіцієнту електропровідності ґрунту на території об'єкту хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження та функціонування системи QR-управління

3. Математична модель попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження шляхом ідентифікації небезпеки у ґрунтах являє собою систему з п'яти аналітичних залежностей. Перша аналітична залежність описує процес трансформації гідрохімічного складу води в елементах ґрунту від часу та концентрації хімічно-небезпечної речовини зі складу забруднюючих продуктів. Друга – встановлює залежність руху води в ґрунті на території поширення небезпеки від часу катастрофічної події. Третя – визначає залежність розповсюдження хімічно-небезпечних речовин зі складу забруднюючих продуктів в елементах ґрунту в залежності від часу та інтенсивності впливу забруднюючих продуктів на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження. Четверта та п'ята залежності дозволяють визначити зміни коефіцієнту електропровідності проби ґрунту на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження в залежності від вмісту забруднюючих продуктів.

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПОПЕРЕДЖЕННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРУ НА ОБ'ЄКТАХ ХІМІЧНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ В УМОВАХ НАДЛИШКОВОГО ТЕХНОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ ШЛЯХОМ ІДЕНТИФІКАЦІЇ НЕБЕЗПЕКИ У ҐРУНТОВИХ ВОДАХ

Вирішувати четверте наукове завдання з розробки математичної моделі попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження шляхом ідентифікації небезпеки у ґрунтових водах будемо наступним чином. В першу чергу, розглянемо основні фізико-хімічні процеси, що мають місце в ґрунтових водах на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження в процесі поширення надзвичайної ситуації техногенного характеру унаслідок потрапляння небезпечних речовин зі складу забруднюючих продуктів у ґрунтові води. По-друге, розглянемо та сформулюємо граничні та початкові умови забезпечення процесу попередження надзвичайної ситуацій техногенного характеру у наслідок попадання небезпечних речовин у ґрунтові води. Після чого дамо опис формального рішення задачі попередження надзвичайної ситуації техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження шляхом ідентифікації забруднюючих продуктів у ґрунтових водах, яке є шуканою математичною моделлю.

4.1. Основні фізико-хімічні процеси, які відбуваються в ґрунтових водах на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження в процесі поширення надзвичайної ситуації техногенного характеру

Надалі розглянемо основні фізико-хімічні процеси, які відбуваються в ґрунтових водах на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження у разі настання катастрофічної події, яка обумовлює початок надзвичайної ситуації.

Так розповсюдження забруднюючих речовин зі складу забруднюючих продуктів у поверхневому стоці визначається виразом:

$$\frac{\delta C}{\delta t} + \frac{\delta}{\delta x} (uC) + \frac{\delta}{\delta y} (vC) - \frac{\delta}{\delta x} \left(E_x \frac{\delta C}{\delta x} \right) - \frac{\delta}{\delta y} \left(E_y \frac{\delta C}{\delta y} \right) + k_c C = 0, \quad (4.1)$$

де: C – концентрація хімічно-небезпечних речовин зі складу забруднюючих продуктів;

u та v – швидкість течії ґрунтових вод в напрямку x та y відповідно;

E_x та E_y – коефіцієнти дисперсій в напрямку x та y відповідно;

k_c – швидкість переносу маси речовини від джерела небезпеки з координатами x_0^B, y_0^B, z_0^B .

Наступна система рівнянь (4.2) – (4.4), що описує поверхневий стік у ґрунтові води на території об'єкту хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження:

$$\frac{\delta \eta}{\delta t} + \frac{\delta[(h+\eta)u]}{\delta x} + \frac{\delta[(h+\eta)v]}{\delta y} = 0, \quad (4.2)$$

$$\frac{\delta u}{\delta t} + u \frac{\delta u}{\delta x} + v \frac{\delta u}{\delta y} = fv - g \frac{\delta \eta}{\delta x} - \frac{g}{\rho_w} \cdot \frac{\delta \rho_w}{\delta x} \cdot \frac{h+\eta}{2} + \frac{\rho_a k' W_v^2 \cos \varphi}{h+\eta} -$$

$$-\frac{gu\sqrt{u^2+v^2}}{(h+\eta)c_{\text{ш}}^2} + \frac{\varepsilon}{\rho_w} \cdot \left(\frac{\delta^2 v}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 u}{\delta y^2} \right), \quad (4.3)$$

$$\begin{aligned} \frac{\delta v}{\delta t} + u \frac{\delta v}{\delta x} + v \frac{\delta v}{\delta y} = fu - g \frac{\delta \eta}{\delta x} - \frac{g}{\rho_w} \cdot \frac{\delta \rho_w}{\delta y} \cdot \frac{h+\eta}{2} + \frac{\rho_a k' W_v^2 \sin \varphi}{h+\eta} - \\ - \frac{gu\sqrt{u^2+v^2}}{(h+\eta)c_{\text{ш}}^2} + \frac{\varepsilon}{\rho_w} \cdot \left(\frac{\delta^2 v}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 u}{\delta y^2} \right), \end{aligned} \quad (4.4)$$

де: x та y – горизонтальні координати;

t – час;

h – глибина потоку;

η – висота поверхні води;

f – сила Коріоліса,

g – прискорення вільного падіння;

ρ_w – щільність води;

ρ_a – щільність повітря;

k' – емпіричний коефіцієнт вітрового навантаження;

W_v – швидкість вітру;

φ – напрямок вітру;

$c_{\text{ш}}$ – коефіцієнт Шезі;

ε – коефіцієнт турбулентної в'язкості.

Процес руху вологи в аварійній зоні вентиляції з урахуванням інфільтрації визначається наступним рівнянням:

$$\begin{aligned} \frac{\delta w}{\delta T} \cdot \frac{\delta T}{\delta t} + \frac{\delta w}{\delta P_{\text{рід}}} \cdot \frac{\delta P_{\text{рід}}}{\delta t} = \nabla \left(\rho_{\text{в.п}} \frac{K_0 K_{\text{в.п}}}{\eta_{\text{в.п}}} \cdot \frac{\delta P_{\text{в.п}}}{\delta T} \nabla T \right) + \\ + \nabla \left(\rho_{\text{рід}} \frac{K_0 K_{\text{рід}}}{\eta_{\text{рід}}} \nabla P_{\text{рід}} + \rho_{\text{в.п}} \frac{K_0 K_{\text{в.п}}}{\eta_{\text{в.п}}} \cdot \frac{\delta P_{\text{в.п}}}{\delta P_{\text{рід}}} \nabla P_{\text{рід}} - \rho_{\text{рід}} \frac{K_0 K_{\text{рід}}}{\eta_{\text{рід}}} \rho_{\text{рід}} g \nabla z \right), \end{aligned} \quad (4.5)$$

де: w – повний вологовміст;
 $P_{\text{рід}}$ та $P_{\text{в.п}}$ – тиск води та водяного пару в середовищі;
 K_0 – коефіцієнт проникності пористого середовища;
 $K_{\text{рід}}$, $K_{\text{в.п}}$ – коефіцієнти відносної фазової проникності рідини та водяної пари;
 $\eta_{\text{рід}}$ та $\eta_{\text{в.п}}$ – коефіцієнти динамічної в'язкості рідини та водяної пари;
 g – прискорення вільного падіння;
 z – координата розповсюдження у вертикальному напрямку.

Процес переносу забруднюючих речовин зі складу забруднюючих продуктів в зоні об'єкту хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного з урахуванням процесів інфільтрації атмосферних опадів визначається рівнянням:

$$\Theta_{\text{рід}} \frac{\delta C}{\delta t} + C \frac{\delta \Theta_{\text{рід}}}{\delta t} + \rho_{\text{г}} \frac{\delta C_{\text{адс}}}{\delta t} = \nabla(\Theta_{\text{рід}} \overset{\circ}{D} \nabla C - \overset{\circ}{u} C) + \overset{\circ}{F}, \quad (4.6)$$

$$\rho_{\text{г}} \frac{\delta C_{\text{адс}}}{\delta t} = \rho_{\text{г}} \beta (K_d C - C_{\text{адс}}), \quad (4.7)$$

де: $\Theta_{\text{рід}}$ – об'ємний вологовміст ґрунту;
 C та $C_{\text{адс}}$ – концентрація токсичної речовини зі складу забруднюючих продуктів в розчині та в адсорбованому стані;
 t - час;
 $\rho_{\text{г}}$ – щільність твердої фази ґрунту;
 $\overset{\circ}{D}$ – тензор гідродинамічної дисперсії; $\overset{\circ}{u}$ – вектор швидкості руху води у ґрунті;
 $\overset{\circ}{F}$ - відображення, яке характеризує інтенсивність зміни концентрації токсичної речовини зі складу забруднюючих продуктів за рахунок процесів хімічного перетворення;

K_d – коефіцієнт розподілу між токсичної речовиною в рідкій та твердій фазі, що визначає відношення концентрації адсорбованої речовини до її концентрації в розчині;

β – швидкість сорбції.

Відповідно процес руху ґрунтових вод на об'єкті хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження визначається рівняннями (4.8 - 4.9):

$$\mu \frac{\delta H}{\delta t} = \frac{\delta}{\delta x} \left(K_x \frac{\delta H}{\delta x} \right) + \frac{\delta}{\delta y} \left(K_y \frac{\delta H}{\delta y} \right) + \frac{\delta}{\delta z} \left(K_z \frac{\delta H}{\delta z} \right) + G(x, y, z, t), \quad (4.8)$$

де: μ – коефіцієнт водовіддачі;

K_x, K_y, K_z – коефіцієнти фільтрації в напрямку осей x, y, z відповідно;

$H(x, y, z, t)$ – гідравлічний напір;

$G(x, y, z, t)$ – відома інтенсивність поповнення ґрунтових вод;

$$\frac{\delta(\Theta_{\text{pid}} C)}{\delta t} = \frac{\delta}{\delta x} \left(\Theta_{\text{pid}} D_{ij} \frac{\delta C}{\delta x} \right) + \frac{\delta}{\delta y} \left(\Theta_{\text{pid}} D_{ij} \frac{\delta C}{\delta y} \right) + \frac{\delta}{\delta z} \left(\Theta_{\text{pid}} D_{ij} \frac{\delta C}{\delta z} \right) -$$

$$- \frac{\delta}{\delta x} (\Theta_{\text{pid}} v_x) + \frac{\delta}{\delta y} (\Theta_{\text{pid}} v_y) + \frac{\delta}{\delta z} (\Theta_{\text{pid}} v_z) + Q(x, y, z, t), \quad (4.9)$$

де: C – концентрація токсичної речовини зі складу забруднюючих продуктів;

D_{ij} – коефіцієнт гідродинамічної дисперсії;

v_x, v_y, v_z – швидкість руху ґрунтових вод в напрямку осей x, y, z відповідно;

$Q(x, y, z, t)$ – відома інтенсивність джерел забруднення з координатами x_0^E, y_0^E, z_0^E .

Крім того, слід зазначити, що процеси руху води в поверхневих шарах ґрунту описуються рівнянням Сен-Венана:

$$\frac{\delta h}{\delta t} + \frac{\delta uh}{\delta x} + \frac{\delta vh}{\delta y} = 0,$$

$$\frac{\delta hu}{\delta t} + \frac{\delta}{\delta x} \left(hu^2 + \frac{1}{2} gh^2 \right) + \frac{\delta}{\delta y} (huv) = hf_x - gh \frac{\delta b}{\delta x}, \quad (4.10)$$

$$\frac{\delta hv}{\delta t} + \frac{\delta}{\delta x} (huv) + \frac{\delta}{\delta y} \left(hv^2 + \frac{1}{2} gh^2 \right) = hf_y - gh \frac{\delta b}{\delta y},$$

де: b – функція, що описує профіль поверхні;

f_x, f_y – компоненти сили Кориоліса, а саме:

$$\frac{\delta C}{\delta t} = \nabla(\Theta_{\text{рід}} \dot{D} \nabla C) - \nabla(\dot{u} C), \quad (4.11)$$

Процес волого переносу описується виразом:

$$\begin{aligned} \frac{\delta w}{\delta T} \cdot \frac{\delta T}{\delta t} + \frac{\delta w}{\delta P_{\text{рід}}} \cdot \frac{\delta P_{\text{рід}}}{\delta t} &= \nabla \left(\rho_{\text{в.п}} \frac{K_0 K_{\text{в.п}}}{\eta_{\text{в.п}}} \cdot \frac{\delta P_{\text{в.п}}}{\delta T} \nabla T \right) - \\ &- \nabla \left(\rho_{\text{рід}} \left[\frac{K_0 K_{\text{рід}}}{\eta_{\text{рід}}} + \rho_{\text{в.п}} \frac{K_0 K_{\text{в.п}}}{\eta_{\text{в.п}}} \cdot \frac{\delta P_{\text{в.п}}}{\delta P_{\text{рід}}} \right] \nabla P_{\text{рід}} - \rho_{\text{рід}} \frac{K_0 K_{\text{рід}}}{\eta_{\text{рід}}} \rho_{\text{рід}} g \nabla z \right). \end{aligned} \quad (4.12)$$

Процес конвективної дифузії токсичних речовин зі складу забруднюючих продуктів з урахуванням кінетики сорбції визначається виразами:

$$\left\{ \begin{aligned} \Theta_{\text{рід}} \frac{\delta C}{\delta t} + C \frac{\delta \Theta_{\text{рід}}}{\delta t} + \rho_r \frac{\delta C_{\text{адс}}}{\delta t} &= \nabla(\Theta_{\text{рід}} \dot{D} \nabla C - \dot{u} C); \\ \rho_r \frac{\delta C_{\text{адс}}}{\delta t} &= \rho_r \beta (K_d C - C_{\text{адс}}). \end{aligned} \right. \quad (4.13)$$

В умовах попередження надзвичайної ситуації техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження унаслідок потрапляння токсичних речовин зі складу забруднюючих продуктів у ґрунтові води слід також враховувати ентальпію процесу витоку токсичної речовини.

За умов виконання 2 припущень, а саме:

1) відсутність нагріву із-за внутрішнього тертя;

2) робота сил тиску не враховується, а питома ентальпія U визначається як множення теплоємності h на температуру T .

Враховуючи наведене зміна повної ентальпії H в досліджуваному об'ємі ґрунтових вод V на території об'єкту хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження буде визначатися рівнянням:

$$H = \int_V ph \, dV = \int_V pUT \, dV . \quad (4.14)$$

Тоді маємо наступний вираз, який визначає ентальпію процесу витоку токсичної речовини зі складу забруднюючих продуктів на об'єкті хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження:

$$\frac{\delta H}{\delta t} = \int_V \frac{\delta(ph)}{\delta t} \, dV + \int_S ph \, v_n \, dS = - \int_S q_n \, dS + \int_V f \, dV , \quad (4.15)$$

де: v_n - швидкість потоку по нормалі до поверхні S об'єму V ,

q_n – щільність теплового потоку;

f - питома потужність внутрішніх джерел тепла.

Для отримання розв'язку математичної задачі наведено вище рівняння слід доповнити рівнянням, що описує процес ідентифікації небезпеки накопичення небезпечних речовин у складі продуктів забруднення шляхом визначення динаміки зміни коефіцієнта електропровідності ґрунтових вод ($x_{mdl}(t)$).

Середнє значення величини x_{mdgv} визначається виразом:

$$x_{mdgv} = \frac{\sum_{i=1}^m x_i}{m}, \quad (4.16)$$

де: x_i – одиничне значення досліджуваної величини (питомої електропровідності (мкСм/см) або коефіцієнту ідентифікації);

m - кількість одиничних визначень i для однієї проби.

Враховуючи те, що питома електропровідність (\varkappa , См/см) являє собою величину, що зворотно пропорційна опорю розчину відповідно до виразу:

$$\varkappa = \frac{l}{SR}. \quad (4.17)$$

Відповідно зміни значення коефіцієнту електропровідності дозволяють у подальшому ідентифікувати небезпеку на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження та застосувати граничні умови поширення НС.

Таким чином, розгляд основних фізико-хімічних процесів, що відбуваються в ґрунтових водах на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження у разі настання надзвичайної ситуації унаслідок потрапляння токсичних речовин зі складу забруднюючих продуктів дозволив визначити аналітичні залежності основних фізико-

хімічних процесів, а саме: процесу руху ґрунтових вод в зоні поширення надзвичайної ситуації техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження; процесу поширення токсичної речовин зі складу забруднюючих продуктів в ґрунтових водах; процесу конвективної дифузії токсичних речовин та ентальпію процесу витоку їх на територію об'єкту хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження; процесу визначення електропровідності проб ґрунтових вод у зоні поширення надзвичайної ситуації техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження.

4.2. Граничні та початкові умови забезпечення процесу попередження надзвичайної ситуацій техногенного характеру на території об'єкту хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження унаслідок потрапляння токсичних речовин зі складу забруднюючих продуктів у ґрунтові води

Як зазначалося у параграфі 3.1. процесу попередження надзвичайної ситуації техногенного характеру на територію об'єкту хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження може здійснюватися за двома шляхами її розвитку (рис. 4.1) [138].

Сценарій перший не порушує умов рівняння (3.39) і тому свідчить проте, що небезпечні речовини потрапили в ґрунтові води на глибині вище рівня ґрунтових вод.

Другий, більш небезпечний аварійний сценарій виникає внаслідок катастрофічного викиду небезпечних речовин у підземні води на території об'єкта та за його межами, про що свідчить аналіз умов виникнення аварійних ситуацій та аварій (розділ 1) [139].

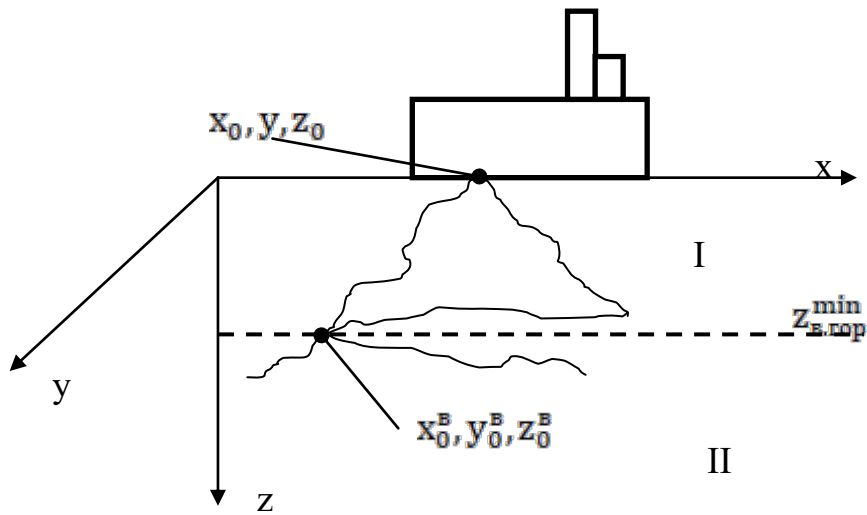


Рис. 4.1. Шляхи розвитку надзвичайної ситуації на територію об'єкту хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження унаслідок небезпеки до ґрунту та ґрунтових вод.

Від так процес попередження надзвичайної ситуації техногенного характеру на територію об'єкту хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження шляхом ідентифікації небезпечних продуктів в ґрунтових водах відповідає порушенню нерівності (3.39) та формуванню відповідної граничної умови існування рішення математичної задачі у вигляді нерівності:

$$z_{\text{в.г.р.}}^{\text{min}} \leq q_1(z, x_{\text{mdl}}(t)), \quad (4.18)$$

Граничні умови другого пріоритетного результату модифікуються, щоб врахувати територію об'єкту хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження, на яку поширюється небезпека, а саме:

$$\begin{cases} q_{21}(t) = f_{21}(q_1, t) \leq q_{21}^{\text{mic}} \\ q_{22}(t) = f_{22}(q_1, t) \leq q_{22}^{\text{mic}}, \\ q_{23} = f_{23}(q_1, t) \leq q_{23}^{\text{mic}} \end{cases}, \quad (4.19)$$

де: $q_{21}^{\text{mic}}, q_{22}^{\text{mic}}, q_{23}^{\text{mic}}$ – кількість загиблих, максимально допустима кількість постраждалих та осіб з порушеними умовами життєдіяльності в наслідок НС, що визначають її місцевий рівень поширення;

f_{21}, f_{22} та f_{23} - відповідні відображення процесу зростання наслідків першої похідної групи наслідків.

Як і у випадку поширення небезпеки в ґрунтах, прямі та непрямі збитки надзвичайної ситуації техногенного характеру на об'єкті хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження у наслідок потрапляння забруднюючих продуктів у ґрунтові води формують граничні умови другої похідної групи:

$$\begin{cases} q_{31}^{\text{mic}} \leq q_{31} = f_{31}(q_1, q_{21}, q_{22}, q_{23}, t) \leq q_{3.2}^{\text{per}}, \\ q_{32}^{\text{mic}} \leq q_{32} = f_{32}(q_1, q_{21}, q_{22}, q_{23}, t) \leq q_{3.3}^{\text{per}} \end{cases}, \quad (4.20)$$

де: $q_{31}^{\text{mic}}, q_{32}^{\text{mic}}, q_{3.2}^{\text{per}}, q_{3.3}^{\text{per}}$ – граничні межі (місцевого та регіонального рівнів) поширення наслідків НС техногенного характеру на об'єкті хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження;

f_{31}, f_{32} - відображення процесу зростання наслідків другої похідної групи наслідків.

Початкові умови для виникнення катастрофічної події вважаються комбінованими (4.21), тобто наявність у поверхневому шарі ґрунту токсичної

речовини $\rho_{\text{неб}}$, що перевищує значення ГДК цієї речовини зі складу токсичної речовини i продукту забруднення, та наявність вмісту токсичної речовини, відмінного від складу продукту забруднення, у початковій точці потрапляння останнього у ґрунтові води:

$$0 \leq \rho_{\text{неб}}^i(x_0^B, y_0^B, z_0^B, t) \cup \text{ГДК}^i \leq \rho_{\text{неб}}^i(x_0, y, z_0, t), \quad (4.21)$$

де: x_0^B, y_0^B, z_0^B - початкові координати точки входу токсичної речовини зі складу забруднюючих продуктів у ґрунтові води об'єкту хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження.

Як і у випадку з формуванням умов існування попередньої математичної моделі, сформовані граничні та початкові умови (4.18) – (4.21) слід доповнити умовами формування процесу QR-управління на об'єкті хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження.

$$\left[\begin{array}{l} P_{QR}^{\text{АРП}} \rightarrow 1 \\ P_{QR}^1 \rightarrow \max \\ \vdots \\ P_{QR}^n \rightarrow \max \end{array} \right. \quad (4.22)$$

$$\left[\begin{array}{l} P_{QR}^{\text{АРП}i} \rightarrow 1 \\ p^{(1..n)i} \leq P_{QR}^{(1..n)i} \rightarrow \max \end{array} \right.$$

Які застосовуються за алгоритмом організації цільового доступу до інформації АРП у процесі QR-управління НС техногенного характеру на об'єкті хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження. Останній наведено на рис.4.2 [140].

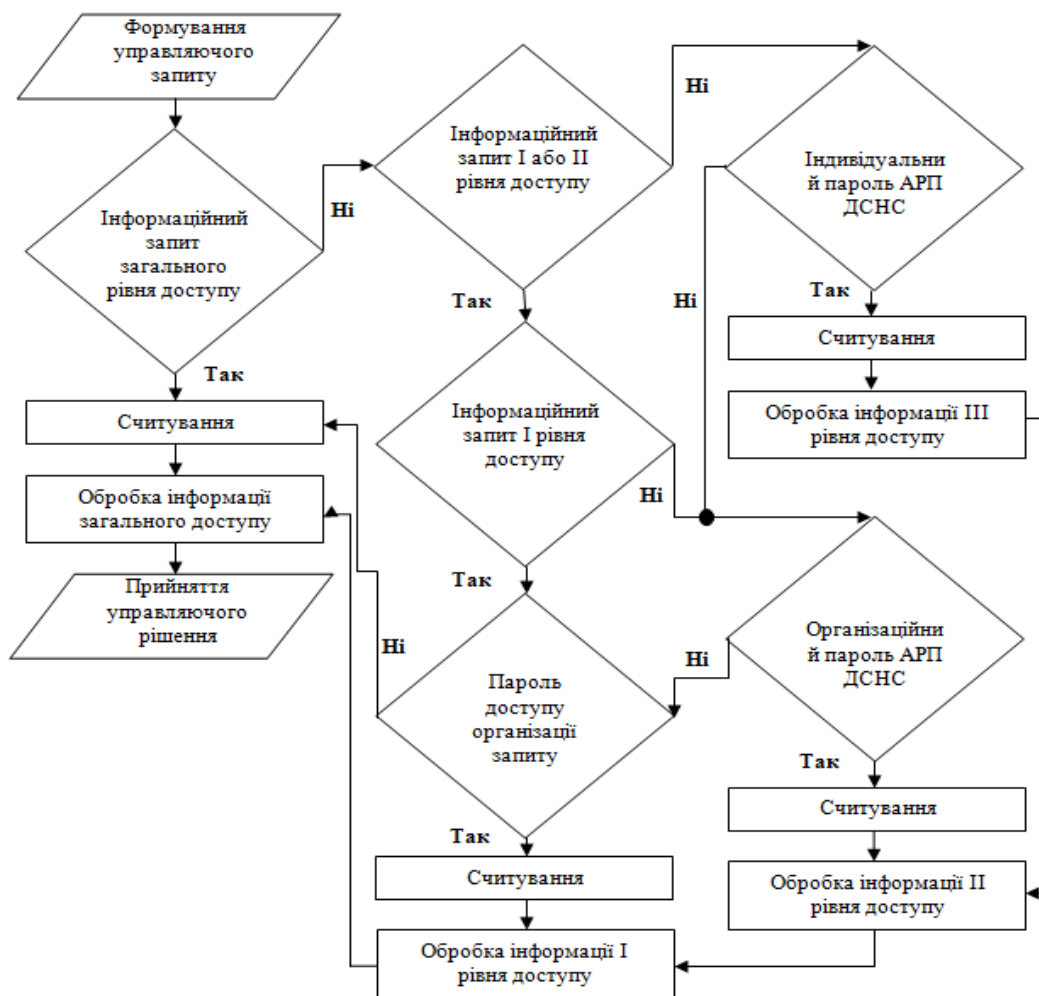


Рис. 4.2. Алгоритм організації цільового доступу до інформації АРП у процесі QR-управління НС техногенного характеру на об'єкті хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження.

Таким чином, рішення математичної задачі визначається двома групами граничних умов, які формуються як відповідні обмеження похідних наслідків надзвичайної ситуації, а саме наслідків першої похідної групи, як-то: кількості жертв, кількості постраждалих, кількості осіб з порушеними умовами життєдіяльності до території та часу поширення зони надзвичайної ситуації, наслідків другої похідної групи, а саме: прямих і непрямих збитків по відношенню до території, часу поширення та наслідкам першої похідної групи надзвичайної ситуації. Початок останньої, як похідної від надзвичайної ситуації техногенного характеру унаслідок потрапляння небезпечної

речовини зі складу забруднюючих продуктів до ґрунту, що мала місце на передодні, визначається початковими умовами, які є відображенням координат джерела небезпеки, зміни коефіцієнту електропровідності ґрунтових вод на об'єкті хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження та функціонуванням системи QR-управління.

4.3. Опис формального рішення задачі – математичної моделі попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження шляхом ідентифікації небезпеки у ґрунтових водах

Як зазначалось раніше в параграфі 4.1 процес руху ґрунтових вод в зоні поширення НС на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження в залежності від гідравлічного напору та коефіцієнту водовіддачі описується залежністю (4.8):

$$\mu \frac{\delta H}{\delta t} = \frac{\delta}{\delta x} \left(K_x \frac{\delta H}{\delta x} \right) + \frac{\delta}{\delta y} \left(K_y \frac{\delta H}{\delta y} \right) + \frac{\delta}{\delta z} \left(K_z \frac{\delta H}{\delta z} \right) + G(x, y, z, t),$$

Враховуючи залежність поширення забруднюючих речовин в ґрунтових водах від коефіцієнту гідродинамічної дисперсії та швидкості ґрунтових вод (4.9), а саме:

$$\begin{aligned} \frac{\delta(\Theta_{\text{pid}} C)}{\delta t} &= \frac{\delta}{\delta x} \left(\Theta_{\text{pid}} D_{ij} \frac{\delta C}{\delta x} \right) + \frac{\delta}{\delta y} \left(\Theta_{\text{pid}} D_{ij} \frac{\delta C}{\delta y} \right) + \frac{\delta}{\delta z} \left(\Theta_{\text{pid}} D_{ij} \frac{\delta C}{\delta z} \right) - \\ &- \frac{\delta}{\delta x} (\Theta_{\text{pid}} v_x) + \frac{\delta}{\delta y} (\Theta_{\text{pid}} v_y) + \frac{\delta}{\delta z} (\Theta_{\text{pid}} v_z) + Q(x, y, z, t), \end{aligned}$$

Залежності конвективної дифузії забруднюючих речовин з урахуванням кінетики сорбції (4.13), а саме :

$$\left\{ \begin{array}{l} \theta_{\text{рід}} \frac{\delta C}{\delta t} + C \frac{\delta \theta_{\text{рід}}}{\delta t} + \rho_r \frac{\delta C_{\text{адс}}}{\delta t} = \nabla(\theta_{\text{рід}} \dot{D}VC - \dot{u}C), \\ \rho_r \frac{\delta C_{\text{адс}}}{\delta t} = \rho_r \beta (K_d C - C_{\text{адс}}), \end{array} \right.$$

та ентальпію процесу витоку забруднюючої речовини на території об'єкту хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження, яка визначається залежністю (4.15):

$$\frac{\delta H^*}{\delta t} = \int_V \frac{\delta(\rho h^*)}{\delta t} dV + \int_S \rho h^* v_n dS = - \int_S q_n dS + \int_V f dV .$$

А також залежність з визначення коефіцієнту електропровідності проби ґрунтових вод на території об'єкту хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження від вмісту токсичних речовин зі складу забруднюючих продуктів, що визначають опір розчину (4.16) та (4.17) у вигляді (4.23):

$$\left\{ \begin{array}{l} x_{mdgv} = \frac{\sum_{i=1}^m x_i}{m} , \\ \varepsilon = \frac{l}{SR} , \end{array} \right. \quad (4.23)$$

Шукана математична модель складається із граничних (4.18), (4.19), (4.20) і початкових (4.21) умов її існування та граничних умов організації процесу QR-управління (4.22) у вигляді (4.24):

$$\left\{ \begin{array}{l}
 z_{B,rop}^{\min} \leq q_1(z, x_{mdl}(t)); \\
 q_{21}(t) = f_{21}(q_1, t) \leq q_{21}^{\text{mic}}; \\
 q_{22}(t) = f_{22}(q_1, t) \leq q_{22}^{\text{mic}}; \\
 q_{23} = f_{23}(q_1, t) \leq q_{23}^{\text{mic}}; \\
 q_{31}^{\text{mic}} \leq q_{31} = f_{31}(q_1, q_{21}, q_{22}, q_{23}, t) \leq q_{32}^{\text{per}}; \\
 q_{32}^{\text{mic}} \leq q_{32} = f_{32}(q_1, q_{21}, q_{22}, q_{23}, t) \leq q_{33}^{\text{per}}; \\
 0 \leq \rho_{\text{неб}}^i(x_0^B, y_0^B, z_0^B, t) \cup \Gamma_{\text{ДК}}^i \leq \rho_{\text{неб}}^i(x_0, y, z_0, t). \\
 \left[\begin{array}{l}
 P_{\text{QR}}^{\text{АПІ}} \rightarrow 1 \\
 P_{\text{QR}}^1 \rightarrow \max \\
 \vdots \\
 P_{\text{QR}}^n \rightarrow \max
 \end{array} \right. \\
 \left[\begin{array}{l}
 P_{\text{QR}}^{\text{АПІ}i} \rightarrow 1 \\
 p^{(1..n)i} \leq P_{\text{QR}}^{(1..n)i} \rightarrow \max
 \end{array} \right.
 \end{array} \right. \quad (4.24)$$

та системи аналітичних залежностей (4.8), (4.9), (4.13), (4.15), (4.23):

$$\left\{ \begin{array}{l}
 \mu \frac{\delta H}{\delta t} = \frac{\delta}{\delta x} \left(K_x \frac{\delta H}{\delta x} \right) + \frac{\delta}{\delta y} \left(K_y \frac{\delta H}{\delta y} \right) + \frac{\delta}{\delta z} \left(K_z \frac{\delta H}{\delta z} \right) + G(x, y, z, t); \\
 \frac{\delta(\Theta_{\text{pid}} C)}{\delta t} = \frac{\delta}{\delta x} \left(\Theta_{\text{pid}} D_{ij} \frac{\delta C}{\delta x} \right) + \frac{\delta}{\delta y} \left(\Theta_{\text{pid}} D_{ij} \frac{\delta C}{\delta y} \right) + \frac{\delta}{\delta z} \left(\Theta_{\text{pid}} D_{ij} \frac{\delta C}{\delta z} \right) - \\
 - \frac{\delta}{\delta x} \left(\Theta_{\text{pid}} v_x \right) + \frac{\delta}{\delta y} \left(\Theta_{\text{pid}} v_y \right) + \frac{\delta}{\delta z} \left(\Theta_{\text{pid}} v_z \right) + Q(x, y, z, t); \\
 \left[\begin{array}{l}
 \Theta_{\text{pid}} \frac{\delta C}{\delta t} + C \frac{\delta \Theta_{\text{pid}}}{\delta t} + \rho_r \frac{\delta C_{\text{адс}}}{\delta t} = \nabla(\Theta_{\text{pid}} \dot{D} \nabla C - \dot{u} C); \\
 \rho_r \frac{\delta C_{\text{адс}}}{\delta t} = \rho_r \beta (K_d C - C_{\text{адс}});
 \end{array} \right. \\
 \frac{\delta H'}{\delta t} = \int_V \frac{\delta(\text{ph}')}{\delta t} dV + \int_S \text{ph}' v_n dS = - \int_S q_n dS + \int_V f dV; \\
 \left[\begin{array}{l}
 x_{\text{mdgv}} = \frac{\sum_{i=1}^m x_i}{m}; \\
 \alpha = \frac{l}{SR}.
 \end{array} \right.
 \end{array} \right. \quad (4.25)$$

що у підсумку забезпечує попередження надзвичайної ситуації техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження шляхом ідентифікації небезпеки у ґрунтових водах.

Таким чином, математична модель попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження шляхом ідентифікації небезпеки у ґрунтових водах являє собою систему з п'яти аналітичних залежностей. Перша аналітична залежність описує процес руху ґрунтових вод в зоні поширення надзвичайної ситуації на об'єкті хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження в залежності від гідравлічного напору та коефіцієнту водовіддачі. Друга – встановлює залежність процесу поширення забруднюючих продуктів в

грунтових водах від коефіцієнту гідродинамічної дисперсії та швидкості ґрунтових вод. Третя – визначає залежність конвективної дифузії небезпечних речовин з урахуванням ентальпії процесу витоку забруднюючої речовини на територію об'єкту хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження. Четверта - визначає ентальпію витоку забруднюючої речовини від щільності та потужності внутрішніх джерел тепла. П'ята - дозволяє визначити зміни коефіцієнту електропровідності проби ґрунтової води на території об'єкту хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження від вмісту забруднюючих продуктів.

Висновки за четвертим розділом

1. Розгляд основних фізико-хімічних процесів, що відбуваються в ґрунтових водах на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження у разі настання надзвичайної ситуації унаслідок потрапляння токсичних речовин зі складу забруднюючих продуктів дозволив визначити аналітичні залежності основних фізико-хімічних процесів, а саме: процесу руху ґрунтових вод в зоні поширення надзвичайної ситуації техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження; процесу поширення токсичної речовини зі складу забруднюючих продуктів в ґрунтових водах; процесу конвективної дифузії токсичних речовин та ентальпію процесу витоку їх на територію об'єкту хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження; процесу визначення електропровідності проб ґрунтових вод у зоні поширення надзвичайної ситуації техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження.

2. Рішення математичної задачі визначається двома групами граничних умов, які формуються як відповідні обмеження похідних наслідків

надзвичайної ситуації, а саме наслідків першої похідної групи, як-то: кількості жертв, кількості постраждалих, кількості осіб з порушеними умовами життєдіяльності до території та часу поширення зони надзвичайної ситуації, наслідків другої похідної групи, а саме: прямих і непрямих збитків по відношенню до території, часу поширення та наслідкам першої похідної групи надзвичайної ситуації. Початок останньої, як похідної від надзвичайної ситуації техногенного характеру унаслідок потрапляння небезпечної речовини зі складу забруднюючих продуктів до ґрунту, що мала місце на передодні, визначається початковими умовами, які є відображенням координат джерела небезпеки, зміни коефіцієнту електропровідності ґрунтових вод на об'єкті хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження та функціонуванням системи QR-управління.

3. Математична модель попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження шляхом ідентифікації небезпеки у ґрунтових водах являє собою систему з п'яти аналітичних залежностей. Перша аналітична залежність описує процес руху ґрунтових вод в зоні поширення надзвичайної ситуації на об'єкті хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження в залежності від гідравлічного напору та коефіцієнту водовіддачі. Друга – встановлює залежність процесу поширення забруднюючих продуктів в ґрунтових водах від коефіцієнту гідродинамічної дисперсії та швидкості ґрунтових вод. Третя – визначає залежність конвективної дифузії небезпечних речовин з урахуванням ентальпії процесу витоку забруднюючої речовини на територію об'єкту хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження. Четверта - визначає ентальпію витоку забруднюючої речовини від щільності та потужності внутрішніх джерел тепла. П'ята - дозволяє визначити зміни коефіцієнту електропровідності проби ґрунтової води на території об'єкту хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження від вмісту забруднюючих продуктів.

РОЗДІЛ 5

ПЕРЕВІРКА ДОСТОВІРНОСТІ РОЗРОБЛЕНИХ МОДЕЛЕЙ

Вирішення п'ятого завдання наукового дослідження з перевірки достовірності розроблених моделей, будемо вирішувати наступним чином. Спочатку дамо опис лабораторної установки з проведення експериментальних досліджень з попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження. Наступним кроком опрацюємо результати чисельних експериментів з перевірки достовірності математичних моделей попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження.

5.1. Розробка лабораторної установки з проведення експериментальних досліджень з попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження

Для перевірки достовірності математичних моделей з попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження шляхом ідентифікації небезпеки в ґрунтах та ґрунтових водах за рахунок технології QR-управління, було вдосконалено лабораторну експериментальну установку для визначення коефіцієнта ідентифікації водних розчинів, зокрема, водних витяжок ґрунтів, за допомогою якої можливо визначати коефіцієнт ідентифікації (K_{Id}) водних розчинів різної мінералізації у відповідності до сучасних способів ідентифікації.

Це забезпечує нову властивість швидкості ідентифікації за рахунок використання датчиків і дозаторів, покритих платиною або графітом, що підвищує ефективність дослідження за рахунок підвищення точності і зниження витрат.

Датчики покриті платиною або графітом, а лабораторна експериментальна установка включає контейнер з розчином, в який занурюється датчик, дозатор, мішалку і комп'ютерний блок. Дозатор має фіксований або змінний об'єм, мішалка є магнітною або механічною, а датчик провідності з'єднаний з комп'ютерним блоком для визначення ідентифікаційного коефіцієнта K_{Id} за допомогою дротової або бездротової системи зв'язку.

Датчики з покриттям з платини або графіту можна використовувати для отримання високоточних значень електропровідності досліджуваного розчину в діапазоні вимірювання 10-30000 мкСм/см і зменшення похибки визначення за рахунок зменшення поляризаційного опору під час вимірювання електропровідності. Використання датчиків з іншими покриттями, відповідно, збільшує поляризаційний опір і внесок інструментальних похибок вимірювання в загальну похибку аналізу. Як наслідок, точність визначення коефіцієнта ідентифікації знижується, нівелюючи ефективність використання коефіцієнта ідентифікації для ідентифікації водних розчинів. Зокрема, якщо K_{Id} двох різних вод становить, наприклад, $3,13 \pm 0,16$ та $3,60 \pm 0,18$ (похибка визначення, наприклад, 5%), збільшення похибки визначення K_{Id} може призвести до неоднозначності в інтерпретації результатів. Тому, коли похибка визначення K_{Id} досягає 10%, вже не можна однозначно стверджувати, що отримані значення ($3,13 \pm 0,31$ та $3,60 \pm 0,36$ відповідно) не належать до однієї проби і не є властивостями одного і того ж розчину; оскільки K_{Id} є індивідуальною властивістю досліджуваної води, то збільшення похибки його визначення унеможливило однозначну ідентифікацію зразка досліджуваного водного розчину [141].

Для забезпечення розведення розчину на кількість, необхідну для отримання набору даних для визначення коефіцієнта ідентифікації K_{Id} , використовується пристрій додавання, який додає аналітичний розчин або розчинник (дистильовану воду) в ємність, що містить розчинник або аналітичний розчин відповідно. Залежно від обраного методу тестування (наприклад, розведення в 1-2 або 2-100 разів) і фактичної наявності лабораторного обладнання, піпетки можуть мати фіксований або змінний об'єм. Кількість розчину, що додається, включаючи разові і сумарні дози, визначається методом тестування. Додавання необхідної кількості розчину забезпечує отримання характерних параметрів і визначення коефіцієнтів ідентифікації. Для зменшення похибок вимірювань провідності шляхом забезпечення рівномірного розподілу порції розчину, що додається, в об'ємі використовують магнітні або механічні мішалки. При аналізі невеликих об'ємів досліджуваних розчинів доцільніше використовувати механічні мішалки для забезпечення якісного перемішування розчину, запобігання втрат через розбризкування розчину і, відповідно, зменшення похибок вимірювання. Значення електропровідності передається контактним або безконтактним способом, залежно від типу обчислювального пристрою та його фактичної наявності, на обчислювальний пристрій, де визначається ідентифікаційний коефіцієнт K_{Id} аналізованого розчину. Зменшення кількості датчиків, що використовуються для вимірювання електропровідності, до одного знижує вартість дослідження.

Блок-схема експериментальної лабораторної установки, з проведення експериментальних досліджень з попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження, наведена на рис 5.1.

Лабораторна установка виглядає наступним чином (див.рис.5.1). Посудина з розчином 3 має мішалку 1, а фіксовану або змінну кількість іншої частини розчину додають у посудину за допомогою дозатора 2. Електропровідність вимірюється за допомогою датчика 4, і кожного разу,

коли додається порція розчину, виміряне значення електропровідності надсилається до обчислювального блоку 5, який обчислює значення ідентифікаційного коефіцієнта K_{Id} для

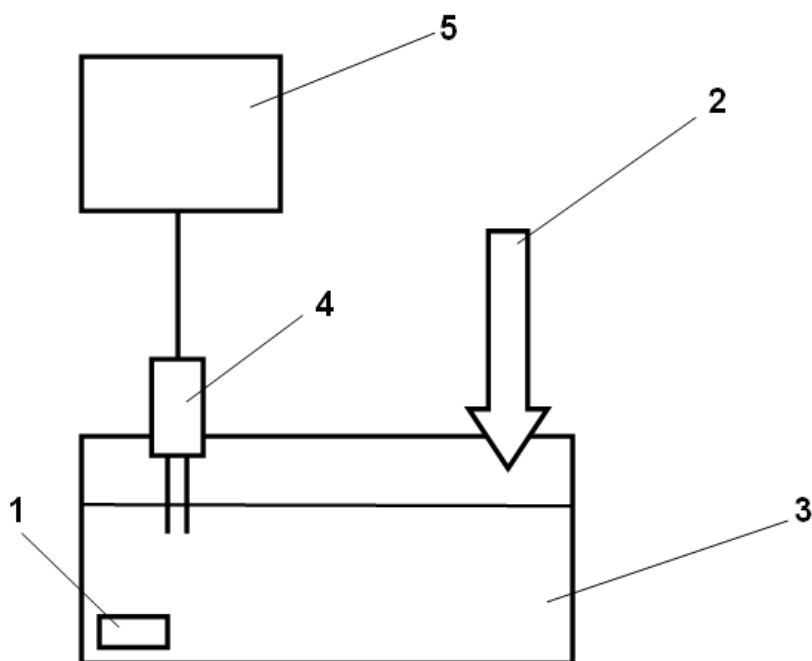


Рис. 5.1. Блок-схема експериментальної лабораторної установки з проведення експериментальних досліджень з попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження. (1 – перемішувач; 2 – дозатор; 3 – ємність з розчином; 4 – сенсор з платиновим або графітовим покриттям; 5 – обчислювальний блок).

Конкретні приклади наведені нижче.

Визначення коефіцієнта ідентифікації зразків води. Використовують магнітну мішалку, датчик-кондуктометр з платиновим покриттям MR-513, підключений до комп'ютерного блоку, і дозатор зі змінним об'ємом (0,1-25,0 см³). Частина аналізованого розчину (25 см³) розбавляють порцією дистильованої води за допомогою дозаторів об'ємом 1, 2, 5 або 6 см³ і після кожного додавання суміш перемішують в посудині (скляній склянці) за

допомогою магнітної мішалки протягом 30 секунд і вимірюють електропровідність [142].

Дані переводять в арифметичну одиницю і розраховують ідентифікаційний коефіцієнт K_{Id} .

Таким чином, удосконалена лабораторна експериментальна установка з проведення експериментальних досліджень з попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження (у складі змішувача, дозатора, ємності з розчином, сенсора з платиновим або графітовим покриттям та обчислювального блоку) дозволяє забезпечити реалізацію інноваційних способів ідентифікації водних розчинів на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження шляхом отримання інтегральної характеристики, а саме коефіцієнта ідентифікації безпеки.

5.2. Результати чисельних експериментів з перевірки достовірності математичних моделей попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження

З метою перевірки адекватності розроблених математичних моделей попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження проведено низку експериментальних досліджень. Коли спостереження однієї і тієї ж константи повторюються з однаковою увагою і в однакових умовах, результати відрізняються один від одного. Це свідчить про існування випадкових похибок. Кожна така похибка є результатом одночасного впливу на результати спостережень ряд у випадкових збурень, які самі є випадковими величинами.

Будемо вважати, що систематичних похибок у результатах спостережень не існує або вони усунуті. Можна лише з певною впевненістю сказати, що істинні значення вимірюваних величин лежать в межах нижньої та верхньої меж результатів спостережень. Однак не відомо, на скільки ймовірною є поява того чи іншого значення похибки [143].

Розглянемо групу з n незалежних результатів спостережень випадкової величини x , що підкоряється нормальному розподілу σ . Оцінка розсіювання одиничних результатів спостережень в групі щодо середнього їх значення \bar{x} обчислюється за формулою:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}. \quad (5.1)$$

Розкид середнього арифметичного значення можна перевірити, повторивши серію спостережень, обчислюючи середнє арифметичне значення кожного разу і приймаючи його за результат вимірювання $S_{\bar{x}}$:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}. \quad (5.2)$$

Середнє квадратичне відхилення $S_{\bar{x}}$ використовується для оцінки похибки результату вимірів з багаторазовими спостереженнями.

Для нормального закону розподілу, щільності ймовірностей спостережень і невеликої кількості спостережень середнє арифметичне відповідає закону розподілу Стюдента з однаковим середнім арифметичним. Характерною особливістю цього розподілу є те, що довірчий інтервал розширюється зі зменшенням кількості спостережень, порівняно з

нормальним законом розподілу при тому ж рівні довіри. У цьому випадку для оцінки довірчих меж ймовірнісної похибки використовується наступне рівняння:

$$P\left(\left|\frac{\bar{x} - a}{s/\sqrt{n}}\right| < t_\gamma\right) = \gamma, \quad (5.3)$$

де t_γ - коефіцієнт розподілу Стюдента, який залежить від числа спостережень і обраної довірчої ймовірності; \bar{x} - емпіричне математичне очікування (середнє арифметичне за вибіркою); a - математичне очікування випадкової величини, розподіленої за нормальним законом; n - обсяг вибірки; s^2 - емпірична дисперсія.

З рівняння (5.3) отримаємо вираз для обчислення довірчого інтервалу для математичного очікування a випадкової величини з достовірністю γ :

$$\bar{x} - t_\gamma \frac{s}{\sqrt{n}} < a < \bar{x} + t_\gamma \frac{s}{\sqrt{n}}. \quad (5.4)$$

Методи статистичної обробки результатів вимірювань при багатократних спостереженнях за критерієм Стюдента повинні враховувати, що результати спостережень можуть містити систематичні похибки і що в групах спостережень x_i можуть виникати значні похибки, а також те, що розподіл випадкових похибок може відрізнятись від нормального.

З урахуванням вище наведеного алгоритм обробки результатів спостережень наступний.

1) Відомі систематичні похибки виключити з результатів спостережень шляхом введення відповідних поправок.

2) Обчислити середнє арифметичне значення виправлених результатів спостережень за виразом $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ та прийняти його в якості результату вимірювання.

3) Провести оцінку розсіювання одиничних результатів спостережень в групі щодо середнього їх значення \bar{x} , для чого обчислити за формулою (5.2) значення дисперсії σ і перевірити наявність грубих похибок в групі спостережень, враховуючи, що при нормальному законі розподілу жодна випадкова похибка $x_i - \bar{x}$ з ймовірністю, що практично дорівнює одиниці, не може вийти за межі $\pm 3\sigma$.

4) Обчислити середнє відхилення S_x результату вимірювання за формулою (5.3) для оцінки похибки результату вимірів з багаторазовими спостереженнями.

5) Доведемо, що результати спостережень належать нормальному розподілу.

6) Обчислити довірчий інтервал для математичного очікування випадкової величини з надійністю γ за формулою (5.4).

Для перевірки достовірності запропонованих математичних моделей попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження шляхом ідентифікації небезпеки у ґрунтах та ґрунтових водах проведено ряд експериментальних досліджень на території підприємства ПрАТ «Рівень» (м. Рівне, вул. Коперника, 9).

Так, у табл. 5.1 представлена середня електропровідність досліджуваних підземних мінеральних вод і рівняння оберненої електропровідності від ступеня розведення на об'єкті хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження, а саме ПрАТ «Рівень» (м. Рівне, вул. Коперника, 9). Середня електропровідність

води за весь час досліджень склало 660,0 мкСм/см при цьому стандартне відхилення 0,3 %. Середні значення коефіцієнта ідентифікації за весь час проведення досліджень склали 1,477 мкСм/см при стандартному відхиленні 5,0 %.

Таблиця 5.1. Середня електропровідність небезпечної мінералізації води на об'єкті хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження та рівняння залежності оберненої електропровідності від ступеня розведення

№ пп	Дата відбору та аналізу	Рівняння залежності оберненої електропровідності від ступеня розведення	R^2	Середня електропро- відність, мкСм/см	Кількість вимірювань
1	08.11.2021	$y = 1,294 x + 0,165$	0,9789	662	1
2	19.11.2021	$y = 1,365 x + 0,219$	0,9998	655	6
3	20.12.2021	$y = 1,484 x + 0,229$	0,9922	663	1
4	13.02.2022	$y = 1,561 x + 0,259$	0,9958	660	3
5	10.04.2023	$y = 1,381 x + 0,236$	0,9975	659	3
6	17.04.2023	$y = 1,473 x + 0,242$	0,9957	660	3
7	13.05.2023	$y = 1,414 x + 0,249$	0,9962	661	3
8	16.06.2023	$y = 1,477 x + 0,235$	0,9940	660	6
9	27.06.2023	$y = 1,514 x + 0,251$	0,9959	660	6
10	15.09.2023	$y = 1,455 x + 0,241$	0,9959	660	3
11	13.11.2023	$y = 1,473 x + 0,242$	0,9957	660	3
12	18.11.2023	$y = 1,483 x + 0,244$	0,9957	660	3

Тому хімічний склад підземних вод досліджували в період з 2021 по 2023 роки за допомогою методу електропровідності. Сталі значення електропровідності та сталі значення ідентифікаційних коефіцієнтів досліджуваних зразків мінеральних вод свідчать про стабільність хімічного складу підземних вод та постійність співвідношення основних іонів, які є головними компонентами небезпечної мінералізації в природних водних розчинах [144].

Результати досліджень наведено на рис. 5.2 – 5.5. Як видно з рис. 5.2 – 5.5, спостерігається зменшення значень електропровідності водних витяжок ґрунтів, при віддаленості від потенційного джерела виникнення НС на об'єкті хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження від 1 до 3 метрів в східному напрямку (орієнтовно від 100 мкСм/см до 350 мкСм/см) та накопичення забруднюючих речовин в ґрунті на відстані 1 м в східному напрямку.

Для проби, відібраної на відстані 2 м за всіма напрямками спостерігається зменшення значення електропровідності порівняно з пробами відібраних ґрунтів на відстані 1 м, точці як для проби, відібраної на відстані 3 м в південному та північному напрямках спостерігається деяке підвищення електропровідності. Це може бути пов'язане з різним рельєфом місцевості, зокрема, різним кутом нахилу над рівнем моря окремих ділянок горизонту поверхні об'єкту хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження.

Практично всі значення електропровідності водних витяжок ґрунтових проб на об'єкті хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження перевищують значення електропровідності в реперних точках, що вказує на перевищення вмісту забруднюючих речовин в ґрунтах поблизу від потенційного джерела виникнення НС порівняно з фоновими значеннями. В південному напрямку відмічається зменшення електропровідності на відстані 10 м та 20 м, що може свідчити про часткове осадження забруднюючих речовин в цьому напрямку або ж про їх подальшу

міграцію в більш глибокі шари ґрунту.

Значення електропровідності водних витяжок зразків ґрунту об'єктів хімічної промисловості в умовах надмірного техногенного навантаження майже всі перевищують значення електропровідності на референтній ділянці, що свідчить про перевищення вмісту забруднюючих речовин у ґрунті поблизу потенційних джерел катастроф порівняно з фоновими значеннями. У південному напрямку спостерігається зменшення електропровідності на відстанях 10 м та 20 м. Це може свідчити про часткове осадження забруднюючих речовин у цьому напрямку або подальшу міграцію в глибші шари ґрунту.

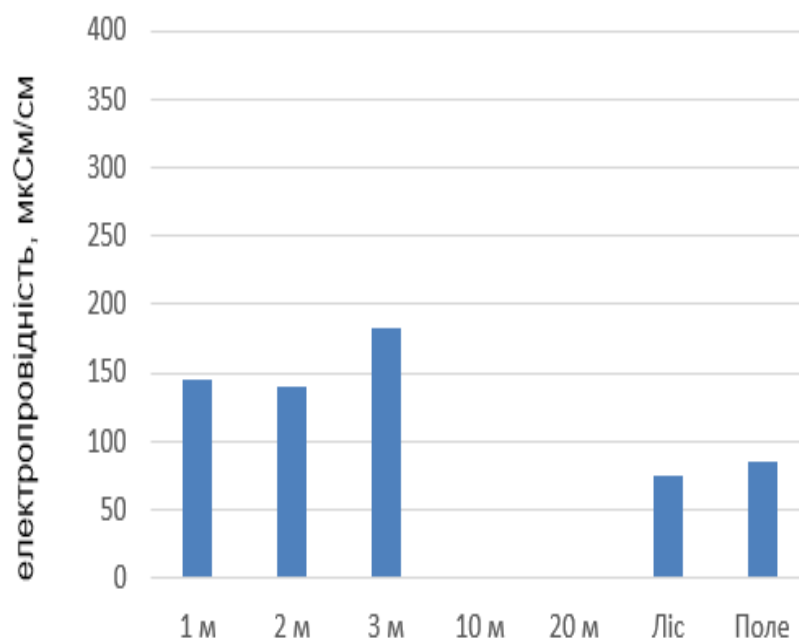


Рис. 5.2. Значення електропровідності (мкСм/см) досліджуваних зразків ґрунту в північному напрямку від можливого джерела НС об'єкта хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження відібраних в точках на відстані 1, 2, 3 м й у реперних умовних точках «ліс» та «поле».

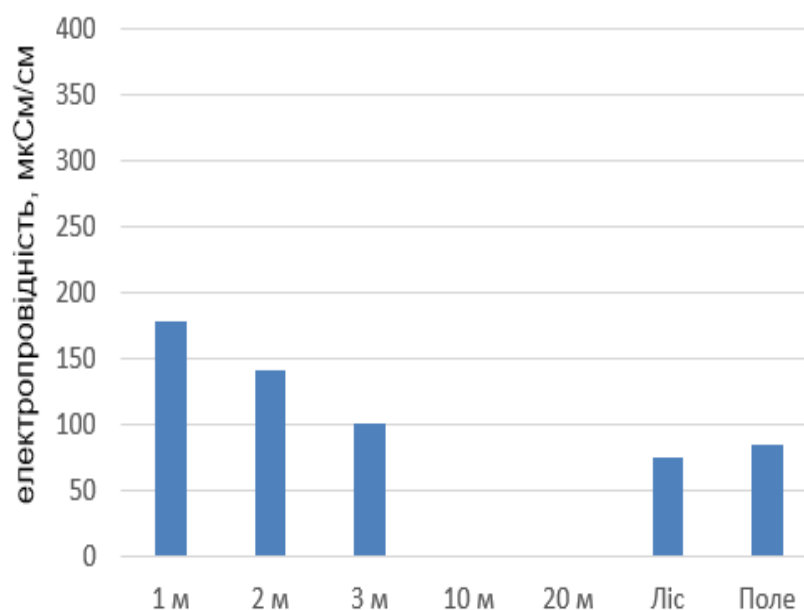


Рис. 5.3. Значення електропровідності (мкСм/см) досліджуваних зразків ґрунту у західному напрямку від можливого джерела НС об'єкта хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження відібраних в точках на відстані 1, 2, 3 м й у реперних умовних точках «ліс» та «поле».

Спостерігається подальша міграція забруднюючих речовин переважно в східному напрямку (рис. 5.3), на відстані 20 м все ще спостерігається певне перевищення забруднюючих речовин в ґрунтах поблизу об'єкта хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження близько в 1,2 рази порівняно з реперними значеннями. В південному напрямку вміст забруднюючих речовин в ґрунтах, відібраних на відстані 10 та 20 м від об'єкта хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження, не перевищує жодних реперних значень [145].

Далі в роботі досліджували коефіцієнти ідентифікації (K_{Id}), водних витяжок ґрунтів, відібраних навесні на відстані 1 м від потенційного джерела виникнення НС в різних напрямках. Коефіцієнт ідентифікації визначаємо як тангенс кута нахилу оберненої залежності електропровідності ($1/\bar{\kappa}$) від

ступеня розведення водної витяжки досліджуваної проби дистильованою водою.

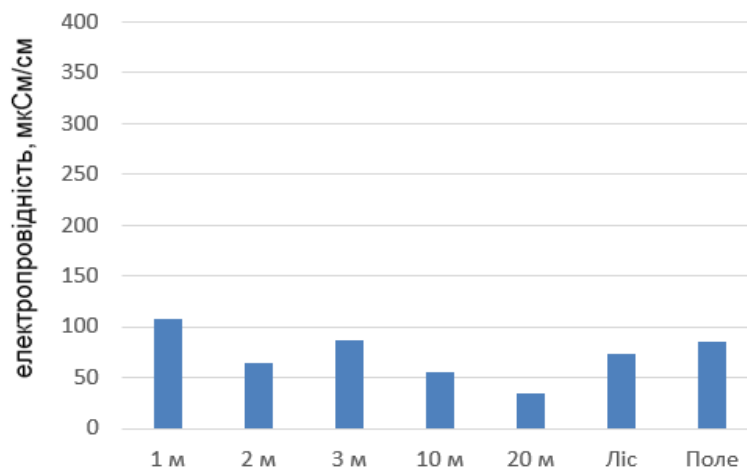


Рис. 5.4. Значення електропровідності (мкСм/см) досліджуваних зразків ґрунту у південному напрямку від можливого джерела НС об'єкта хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження відібраних в точках на відстані 1, 2, 3, 10, 20 м й у реперних умовних точках «ліс» та «поле».

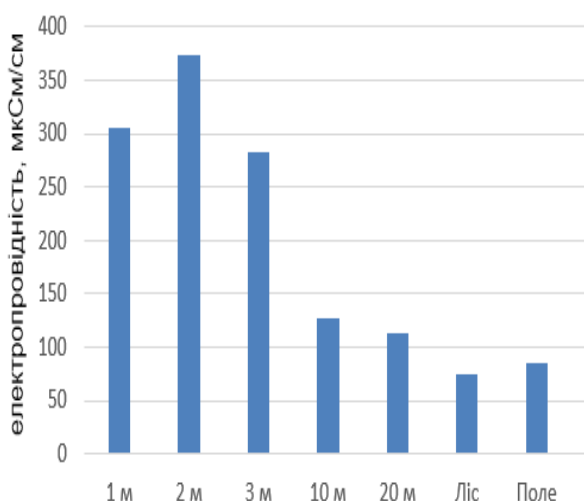


Рис. 5.5. Значення електропровідності (мкСм/см) досліджуваних зразків ґрунту у східному напрямку від можливого джерела НС об'єкта хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження відібраних в точках на відстані 1, 2, 3, 10, 20 м й у реперних умовних точках «ліс» та «поле».

Як видно з (рис. 5.6), у всіх випадках коефіцієнти ідентифікації є різними для всіх досліджених проб, що свідчить про різний якісний та кількісний склад забруднюючих речовин у всіх зразках ґрунту, відібраних протягом літа, та не відповідність природному (фоновому) вмісту речовин у ґрунті.

Згідно з нормативними документами, умови розміщення досліджуваних потенційних аварійних джерел визначають їхню водонепроникність, атом у потрапляння розчинних мінеральних компонентів у прилеглі до об'єкту хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження ґрунту відбуватиметься лише за умови їхнього змиву дощовими водами або таненням снігу.

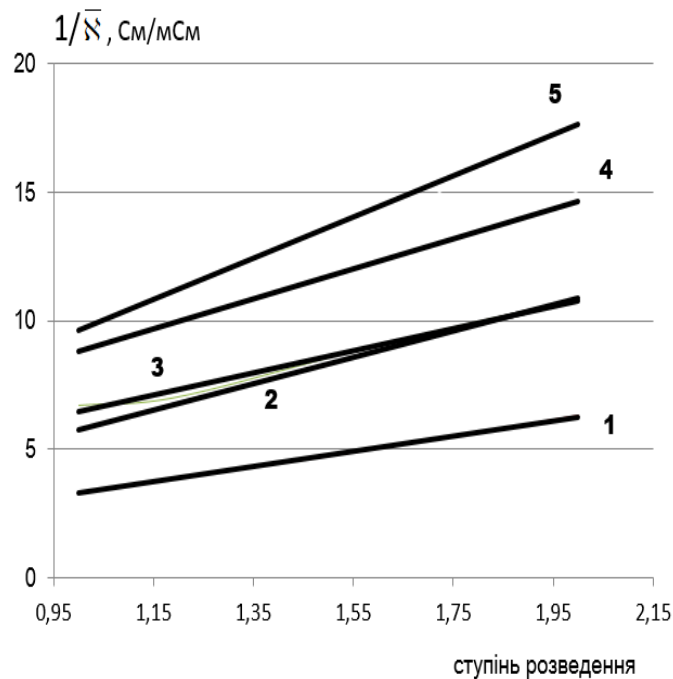


Рис. 5.6. Залежність оберненої електропровідності від ступеня розведення водних витяжок досліджуваних ґрунтів об'єкта хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження, відібраних влітку. 1 – для проби, відібраної в східному напрямку, 2 – для проби, відібраної в західному напрямку, 3 – для проби, відібраної в південному напрямку, 4 – для проби, відібраної в північному напрямку, 5 – для проби, відібраної в лісопосадці («ліс»).

В умовах надмірного техногенного навантаження, за умови подібного складу забруднюючих речовин, що надходять у ґрунт від потенційних аварійних джерел хімічних промислових об'єктів, коефіцієнти ідентифікації водних витяжок досліджуваних зразків мали б бути подібними, але цього не спостерігається. Це означає, що з території об'єкта хімічної промисловості в умовах надмірного техногенного навантаження в ґрунт потрапляє неоднорідна суміш забруднюючих речовин. Значні відмінності у значеннях електропровідності можуть свідчити про витік забруднюючих речовин [146].

Отримані коефіцієнти ідентифікації змінюються в діапазоні (2 - 8), що свідчить про значні відмінності в концентрації та якісному складі забруднюючих речовин у досліджуваних водах.

Прикладом використання запропонованого методу є дослідження стану підземних і поверхневих вод в межах потенційної аварійної ситуації на хімічному промисловому об'єкті в умовах надмірного техногенного навантаження.

У цьому дослідженні проби підземних і поверхневих вод були відібрані на весні 2023 року в умовах надмірного антропогенного навантаження на відстані до 1,5 км від хімічного промислового об'єкта. Було виміряно питому електропровідність зразків води та розраховано коефіцієнт ідентифікації небезпеки K_{hd} .

Від так, на об'єктах ПрАТ «Рівень» (м. Рівне, вул. Коперника, 9) спостерігається надмірне антропогенне навантаження, тому маємо наступне.

На рис. 5.7 наведені величини виміряних електропровідностей води у досліджуваних точках (проби 1, 2, 3 – підземна вода з глибини до 10 м, проби 4, 5, 6 – вода з поверхневого джерела, проба 7 - підземна вода з глибини до 70 м).

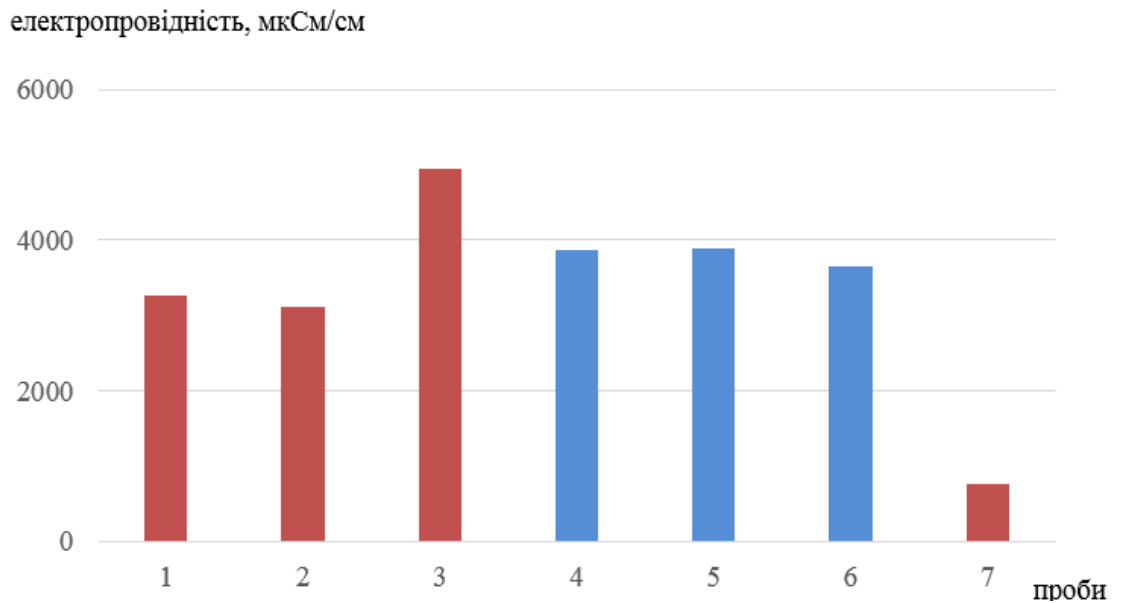


Рис. 5.7. Значення електропровідностей водних проб на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження (µСм/см): 1, 2, 3 – проби досліджуваної води, відібрані на глибині до 10 м; проби 4, 5, 6 – вода з поверхневого джерела; проба 7 - референтний зразок води, відібраної на глибині до 70 м.

В табл.5.2 наведено коефіцієнти ідентифікації досліджуваних проб на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження.

На рис. 5.8 наведені величини отриманих коефіцієнтів ідентифікації небезпеки (K_{hid}) води у досліджуваних точках (проби 1, 2, 3 – підземна вода з глибини до 10 м, проби 4, 5, 6 – вода з поверхневого джерела (річка), проба 7- підземна вода з глибини до 70 м). Представлені значення отримані з рівнянь виду $y = C \cdot z^* \pm D^*$, при побудові залежностей «обернена електропровідність – ступінь розведення n » для досліджуваних проб, де коефіцієнт C^* при z^* і є тангенсом кута нахилу прямої, та відповідно, числовим значенням коефіцієнту ідентифікації небезпеки.

Таблиця 5.2. Коефіцієнти ідентифікації досліджуваних проб на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження

Місяць	Проба I	Проба II	Проба III	Проба IV	Проба V	Проба VI	Проба VII
Січень	0,335	0,205	0,21	0,219	0,36	0,228	1,417
Лютий	0,343	0,494	0,347	0,21	0,314	0,725	1,29
Березень	0,527	0,398	0,312	0,509	0,338	0,633	1,213
Квітень	0,29	0,282	0,273	0,296	0,344	0,186	1,254
Травень	0,317	0,23	0,193	0,255	0,18	0,174	0,645
Червень	0,323	0,198	0,193	0,218	0,336	0,253	1,254
Липень	0,356	0,198	0,26	0,252	0,364	0,218	1,33
Серпень	0,317	0,204	0,232	0,207	0,338	0,169	1,295
Вересень	0,333	0,152	0,21	0,173	0,331	0,253	1,419
Жовтень	0,305	0,154	0,203	0,2	0,341	0,188	0,891
Листопад	0,333	0,283	0,338	0,206	0,339	0,183	1,406

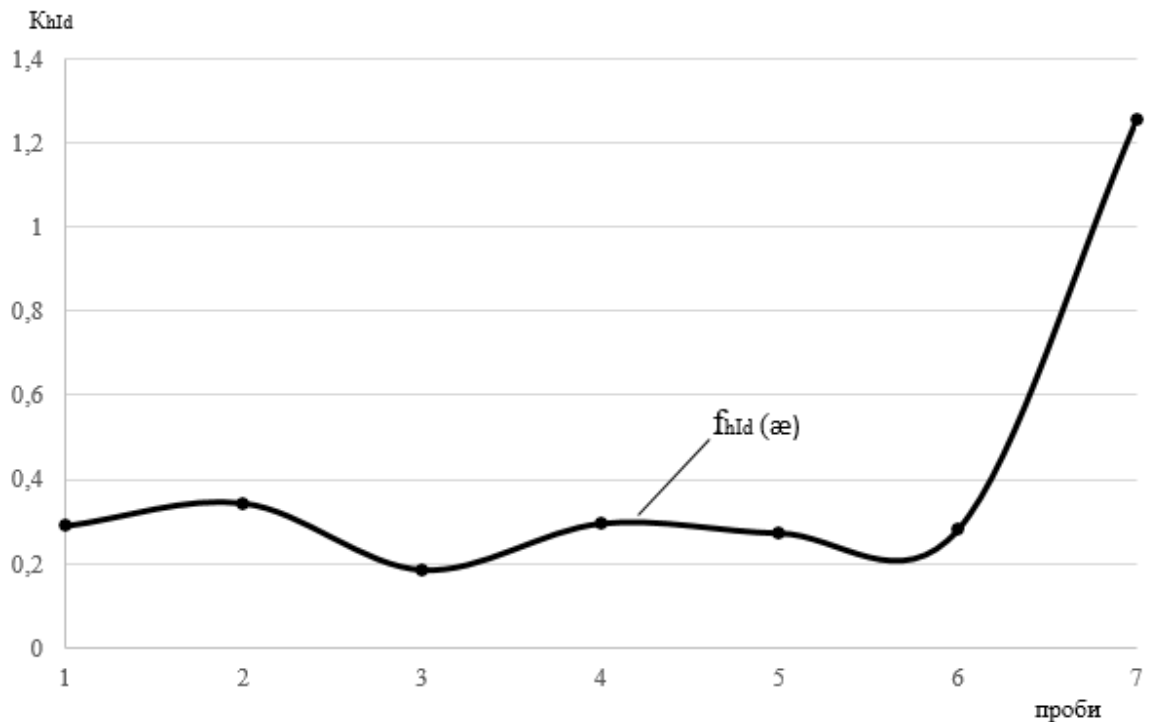


Рис. 5.8. Значення коефіцієнтів ідентифікації небезпеки водних проб на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження: 1, 2, 3 – проби досліджуваної води, відібрані на глибині до 10 м; проби 4, 5, 6 – вода з поверхневого джерела; проба 7 - референтний зразок води, відібраної на глибині до 70 м.

Приписане значення розширеної невизначеності для електропровідності та коефіцієнта ідентифікації небезпеки не перевищує 4 % для вод даної мінералізації, розраховане значення $S_r(\text{æ})$ для досліджуваних проб не перевищує 3 %.

Для проб води значення електропровідностей та коефіцієнтів ідентифікації небезпеки коливаються в діапазоні 760 – 5000 мкСм/см та 0,18 – 1,30, відповідно. Похибка визначень не перевищує 3 %, розширена невизначеність - не більше 4 %.

Аналіз отриманих результатів (рис. 5.7) показує, що стан досліджуваних водних об'єктів є незадовільним. Зокрема, безпосереднє споживання води з усіх проб, окрім 7, є небезпечним для населення. Це пов'язано з тим, що за відсутності донних відкладів загальний вміст солей

був би у два-три рази вищим за референтне значення для сухого залишку. Значення електропровідності відрізняються для всіх досліджуваних зразків.

На рисунку 5.8 показано, що хімічний склад змінюється більшою мірою у всіх зразках підземних вод (зразки 1, 2, 3 і 7) і меншою мірою у зразках поверхневих вод (зразки 4, 5 і 6), оскільки дискримінатор небезпеки характеризується постійною часткою хімічних речовин у досліджуваному розчині. Однак хімічний склад найбільше відрізняється у всіх пробах порівняно з пробами води, відібраними на глибині (проба 7). Вода з джерела зразка 1 подібна до поверхневого зразка 4 за факторами ідентифікації небезпеки, що дозволяє припустити, що їхній хімічний склад подібний, оскільки фактори ідентифікації небезпеки повинні бути подібними за умов постійного хімічного складу зразків. Відсутність ідентичності K_{hd} між досліджуваними зразками вказує на те, що вміст забруднюючих речовин у відібраних зразках є різноманітним.

Враховуючи історичні аспекти функціонування хімічного промислового об'єкту в умовах надмірного технічного навантаження та наявності джерел підземних вод (зразки 1-3), а також результати дослідження, досліджувані поверхневі та підземні води могли зазнати значного негативного впливу, що, в свою чергу, могло призвести до виникнення надзвичайної ситуації на об'єкті та регіональному рівні.

Значні відмінності в електропровідності та коефіцієнтах дискримінації небезпеки між зразком 7 та іншими зразками свідчать про те, що цей водоносний горизонт є високо захищеним і не становить регіональної небезпеки [147].

Аналіз отриманих результатів показує, що існують значні відмінності у хімічному складі досліджуваних водних об'єктів, що свідчить про те, що вони перебувають у зоні впливу хімічних промислових об'єктів в умовах надмірного техногенного навантаження. Від так, ідентифікація хімічних речовин у ґрунті та підземних водах свідчить про можливість застосування запропонованої методики ідентифікації небезпеки на хімічних промислових

об'єктах в умовах надмірного техногенного навантаження для запобігання виникненню надзвичайних ситуацій техногенного характеру на хімічних промислових об'єктах.

Таким чином, результати всіх натурних експериментів, отриманих в результаті статистичного аналізу динаміки змін хімічного складу ґрунтів та ґрунтових вод на об'єкті ПрАТ «Рівень» (м. Рівне, вул. Коперника, 9) в умовах надлишкового техногенного навантаження як частина численних експериментів розташовуються в межах довірчих інтервалів, розрахованих відповідно до критерію Стюдента з надійністю 0,95, що свідчить про хорошу збіжність результатів експериментів і теоретичних розрахунків. Це в свою чергу підтверджує достовірність математичних моделей з попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження шляхом ідентифікації небезпеки у ґрунтах та ґрунтових водах.

Висновки за п'ятим розділом

1. Удосконалена лабораторна експериментальна установка з проведення експериментальних досліджень з попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження (у складі змішувача, дозатора, ємності з розчином, сенсора з платиновим або графітовим покриттям та обчислювального блоку) дозволяє забезпечити реалізацію інноваційних способів ідентифікації водних розчинів на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження шляхом отримання інтегральної характеристики, а саме коефіцієнта ідентифікації небезпеки.

2. Результати всіх натурних експериментів, отриманих в результаті статистичного аналізу динаміки змін хімічного складу ґрунтів та ґрунтових

вод на об'єкті ПрАТ «Рівень» (м. Рівне, вул. Коперника, 9) в умовах надлишкового техногенного навантаження як частина численних експериментів розташовуються в межах довірчих інтервалів, розрахованих відповідно до критерію Стюдента з надійністю 0,95, що свідчить про хорошу збіжність результатів експериментів і теоретичних розрахунків. Це в свою чергу підтверджує достовірність математичних моделей з попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження шляхом ідентифікації небезпеки у ґрунтах та ґрунтових водах.

РОЗДІЛ 6

ВАРІАНТИ ВПРОВАДЖЕННЯ РОЗРОБЛЕНИХ МОДЕЛЕЙ ПОПЕРЕДЖЕННЯ НАДЗВИЧАЙНОЇ СИТУАЦІЇ НА ОБ'ЄКТАХ ХІМІЧНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ В УМОВАХ НАДЛИШКОВОГО ТЕХНОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Вирішувати п'яте завдання наукового дослідження з розробки варіантів впровадження розроблених моделей попередження надзвичайної ситуацій техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження шляхом ідентифікації небезпеки у ґрунтах та ґрунтових водах будемо наступним чином. Спочатку розглянемо основні особливості технологічного процесу на об'єкті ПрАТ «Рівень» (м. Рівне, вул. Коперника, 9) в умовах надлишкового техногенного навантаження. Після чого розглянемо характеристики інформаційно-аналітичного комплексу підтримки управління надзвичайною ситуацією техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження шляхом ідентифікації небезпеки у ґрунтових водах за рахунок використання QR технологій.

6.1. Особливості технологічного процесу на об'єкті хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження

Технологічний процес складається з декількох ділянок (рис. 6.1). Перша ділянка включає в себе процес подрібнення солоду, до неї входять молотова дробарка з вертикальним приводом та бак. Друга ділянка включає процес затирання з використанням заторного апарату. Третя ділянка

фільтрування включає в себе фільтрувальний апарат та фільтрувальний прес. Четверта ділянка кип'ятіння включає в себе чан та бак зливу. П'ятий процес охолодження включає в себе пластинчастий холодильний та бак. Шоста ділянка бродіння. До неї входить ЦКТ. Принципова технологічна схема виробництва ПрАТ «Рівень» представлена на рис. 6.2.



Рис. 6.1 – Структурна схема технологічного процесу ПрАТ «Рівень».

Для системи управління технологічним процесом ПрАТ «Рівень» характерно використання однієї системи управління для усього процесу пивоваріння. Дане рішення дозволяє централізовано керувати усім процесом виробництва. Також характерно використання лише один пульт керування, а не по одному для кожного процесу окремо. Оскільки доволі складно керувати такою системою на великій відстані, то до її складу додано локальні блоки управління, які в свою чергу розташовані близько до самої системи. Центральним пультом слугує персональний комп'ютер. Зв'язок між блоками і центральним пультом організовано за допомогою шинного інтерфейсу.

Для ефективного управління усією системою за рахунок використання QR технологій необхідно розглянути кожну ділянку виробництва окремо, а також створити для кожної ділянки окрему підсистему управління. Розглянемо окремо кожну з шести ділянок АСУ ВП.

Управління ділянкою подрібнення сировини включає в себе походження солоду через каменевідбірник, магнітне видалення металічних предметів, перекачування солоду, зважування необхідної кількості засипки та безпосередньо процес подрібнення.

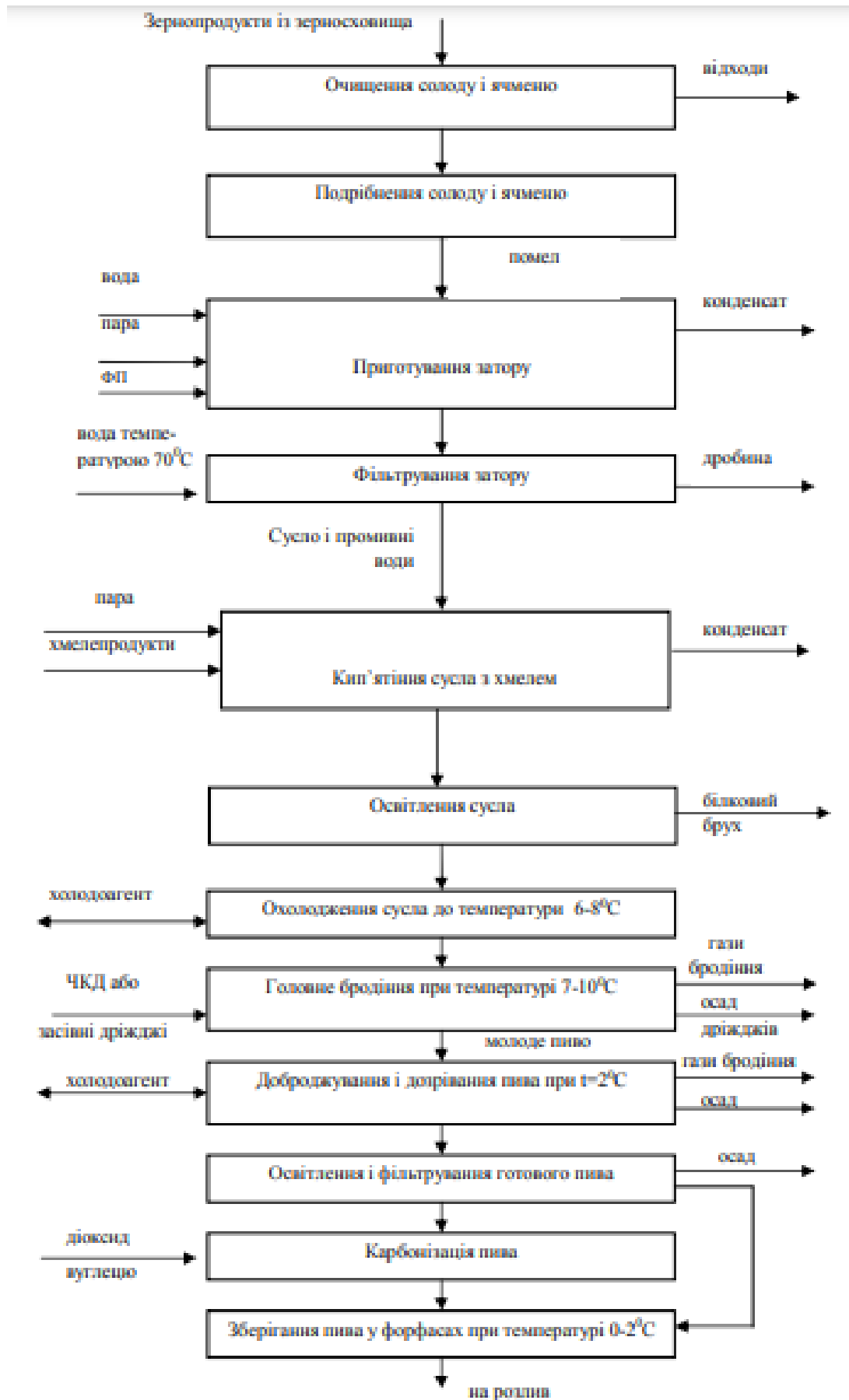


Рис. 6.2 – Принципова технологічна схема виробництва ПрАТ «Рівень».

Управління ділянкою затирання включає в себе змішування солоду з гарячою водою при постійному підігріванні. Автоматизовані параметри: контроль за кількістю поданого для затирання солоду, кількість поданої води, температура води, температура сусла, контроль за температурними паузами. Управління ділянкою фільтрування включає в себе збір первинного сусла та вилуговування дробини за допомогою фільтраційного апарату. Автоматизовані параметри: стікання води з дробини, промивання дробини, контроль за кількістю поданої води, наміванням речовини на фільтри.

Управління ділянкою кип'ятіння включає в себе розчинення та перетворення компонентів хмелю, випаровування води, стерилізацію сусла, знищення усіх ферментів, насичення сусла кольором, підвищення кислотності. Автоматизовані параметри: контроль за кількістю доданого до сусла хмелю, кількість поданої води, температура води.

Управління ділянкою освітлення та охолодження пива включає в себе перекачування гарячого пивного сусла в холодильний чан та безпосереднє охолодження та освітлення пива. Автоматизовані процеси: процес перекачування сусла, вимірювання початкового рівня температури, контроль за зміною температури середовища, контроль за температурою пивного сула, температурні паузи.

Управління ділянкою бродіння включає в себе додавання до сусла дріжджів та часові витримки. Автоматизовані процеси: контроль за кількістю поданих до сусла дріжджів, контроль за часом бродіння, переливання сусла, зняття з осаду, контроль за температурою [148].

Таким чином, зважаючи на орієнтацію України на європейські стандарти в сфері цивільного захисту, виникає потреба у необхідності узагальнення та імплементації міжнародного досвіду створення та функціонування систем управління в умовах надзвичайних ситуацій, на базі сучасних інформаційно-комунікативних технологій, насамперед надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах хімічної

промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження шляхом ідентифікації небезпеки у ґрунтах та ґрунтових водах.

6.2. Розробка інформаційно-аналітичного комплексу підтримки управління надзвичайною ситуацією на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження шляхом ідентифікації небезпеки у ґрунтах та ґрунтових водах за рахунок використання QR - технологій

Пілотний проект інформаційно-аналітичного комплексу QR - управління надзвичайною ситуацією на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження шляхом ідентифікації небезпеки у ґрунтах та ґрунтових водах створено мовою візуального програмування високого рівня Object Pascal у середовищі Delphi. Необхідна інформація для поповнення бази даних заповнюється за відкритими джерелами, наявною нормативною базою та наочним спостереженням. Програмний додаток має клієнт-серверну архітектуру (рис. 6.3) і застосовує MySQL в якості системи управління базами даних для упорядкування бази даних.

Перший етап роботи з інформаційно-аналітичним комплексом QR - управління надзвичайною ситуацією на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження шляхом ідентифікації небезпеки у ґрунтах та ґрунтових водах передбачає проходження персональної QR ідентифікації, що дозволяє забезпечити дотримання Загальноєвропейських принципів опрацювання персональних даних (рис. 6.4).

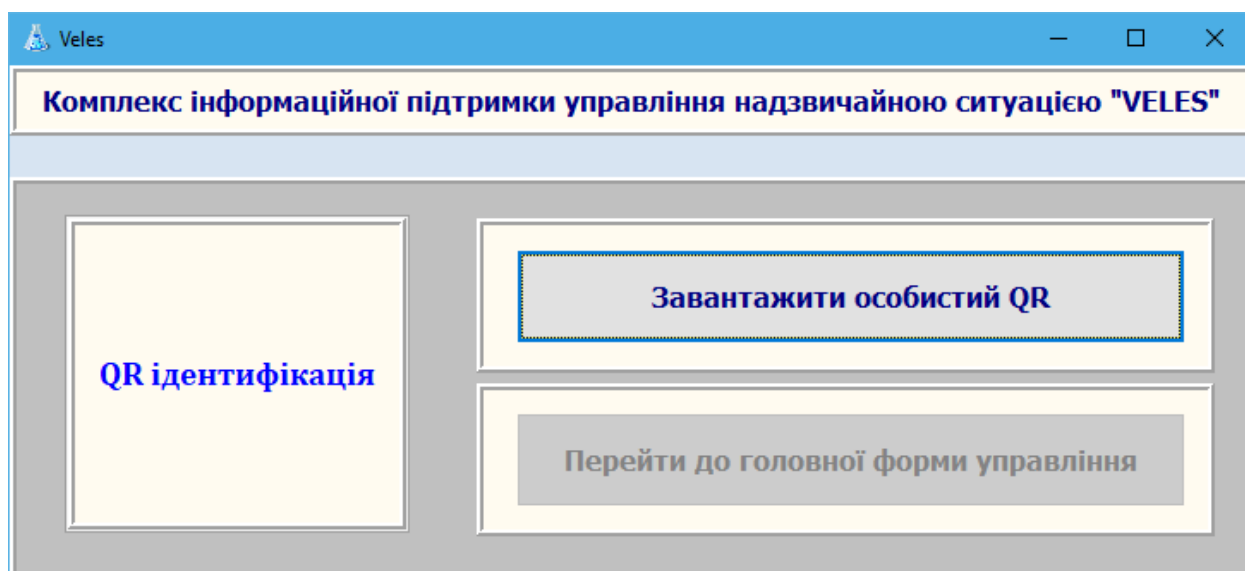


Рис. 6.3. Інтерфейс блоку QR-ідентифікації користувачів.

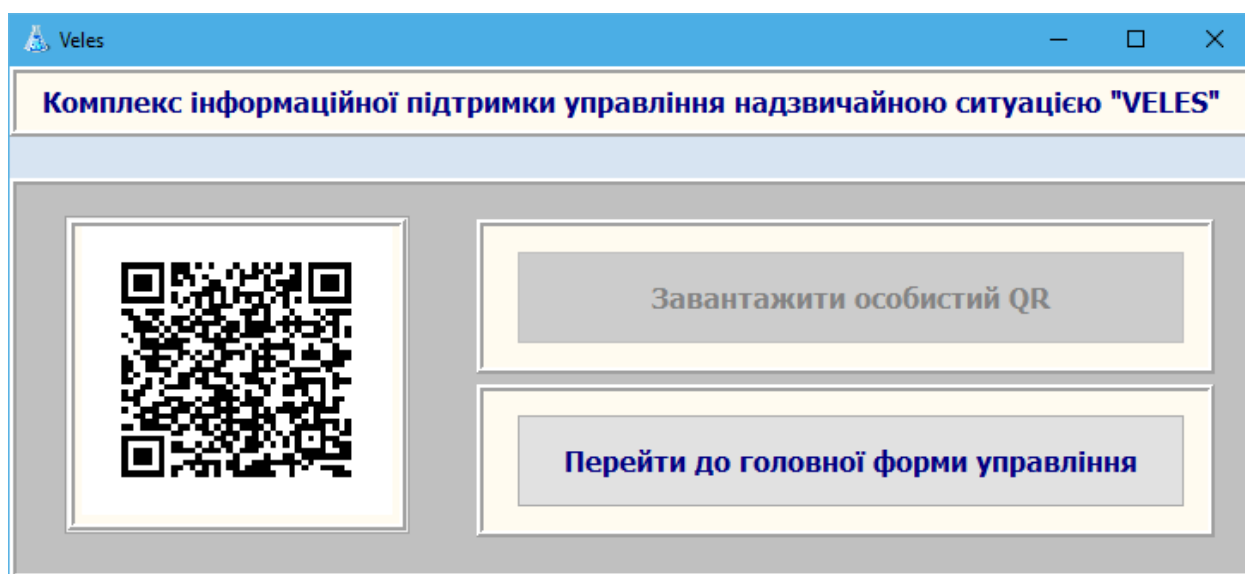


Рис. 6.4. Приклад проведення процедури QR-ідентифікації користувачів

Структура інформаційно-аналітичного комплексу QR - управління надзвичайною ситуацією на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження шляхом ідентифікації небезпеки у ґрунтах та ґрунтових водах містить 5 основних компонентів [149], які

представлені на рис. 6.5, а саме:

- 1) Блок характеристик об'єкту хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження.
- 2) Блок характеристик джерел потенційної небезпеки на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження.
- 3) Блок аналізу ґрунтів на території об'єкту хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження.
- 4) Блок аналізу ґрунтових вод на території та за межами об'єкту хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження.
- 5) Блок планування дій аварійно-рятувальних підрозділів з попередження надзвичайної ситуації техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження шляхом ідентифікації небезпеки у ґрунтах та ґрунтових водах.

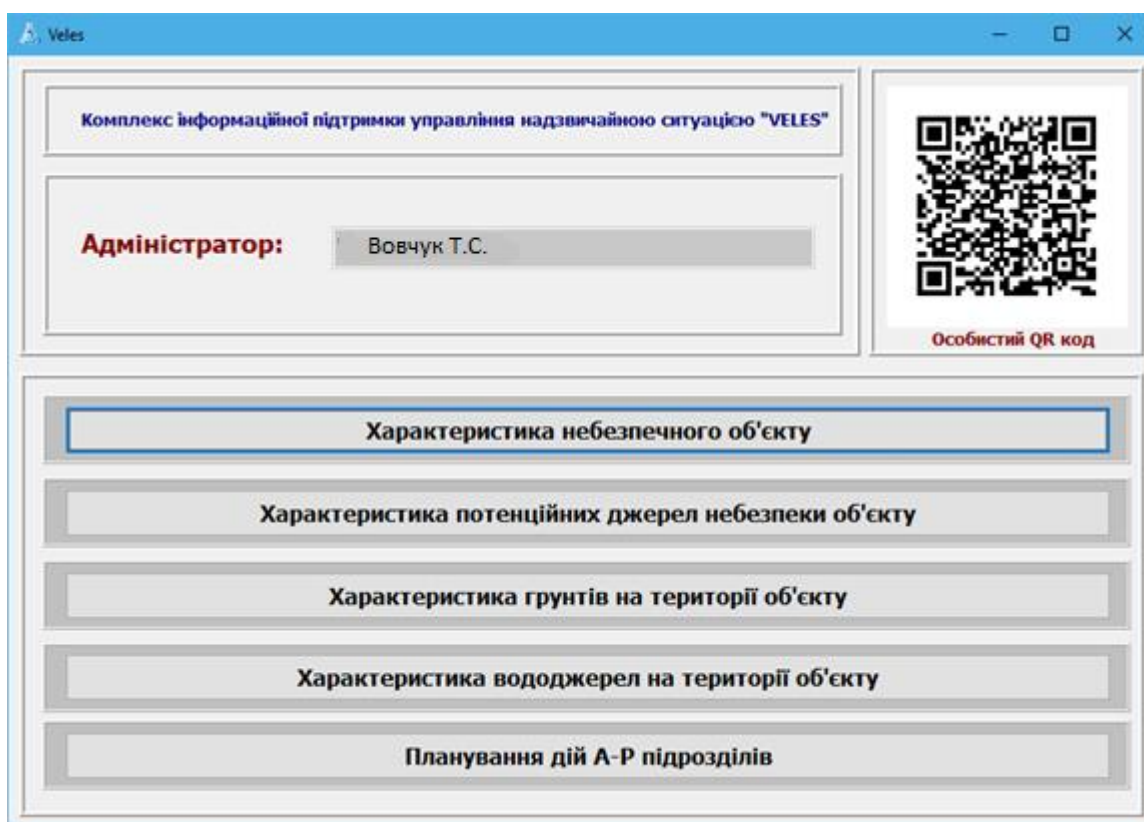


Рис. 6.5. Структура інформаційно-аналітичного комплексу QR - управління надзвичайною ситуацією техногенного характеру.

Відповідно наведені модулі включають:

1) Блок характеристик небезпеки об'єкту небезпечного виробництва – структурована інформація щодо характеристик об'єкту небезпечного виробництва (рис. 6.6). Ця компонента містить відомості про основні географічні та геоінформаційні дані, матеріально-технічні, транспортні засоби, які є у розпорядження на території об'єкту тощо. Атрибути та формат завдання інформації узгоджені із прийнятою у звітності ДСНС України формою за незначними відхиленнями, які за необхідності легко модифікуються. Введені дані трансформуються в частину загального QR коду.

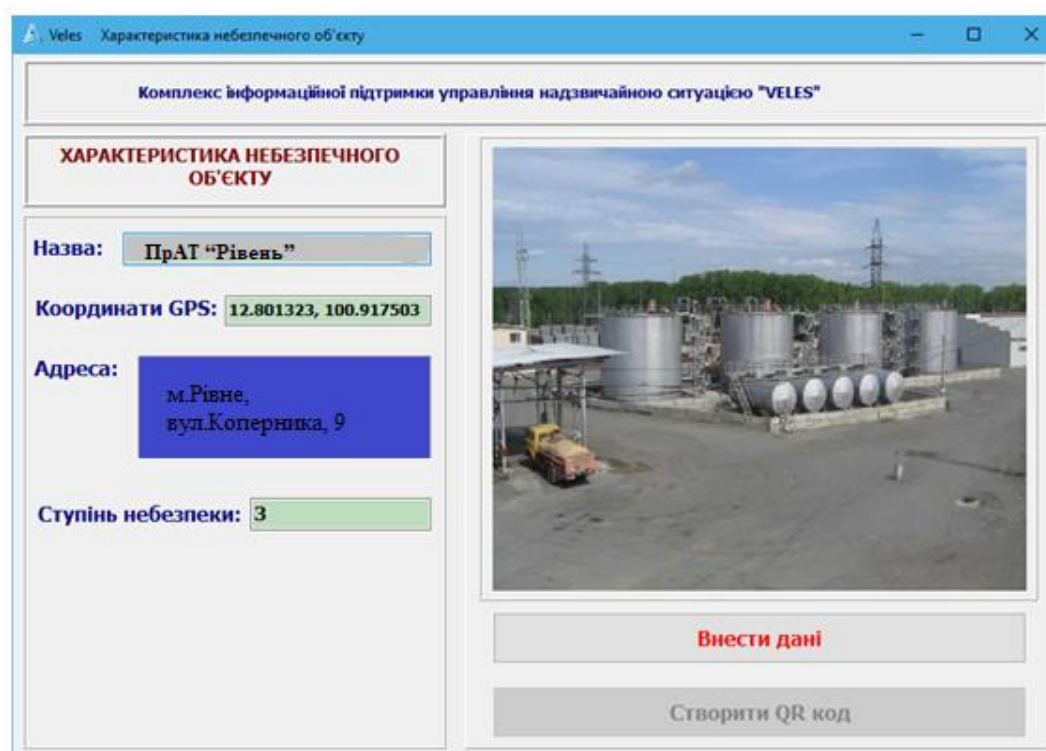


Рис. 6.6. Інтерфейс модуля «Характеристики безпеки об'єкту небезпечного виробництва» інформаційно-аналітичного комплексу QR - управління надзвичайною ситуацією техногенного характеру.

2) Блок характеристик джерел потенційної небезпеки об'єкту небезпечного виробництва – інтерфейс бази даних щодо характеристик джерел небезпеки на об'єктах хімічної промисловості в умовах

надлишкового техногенного навантаження шляхом ідентифікації небезпеки у ґрунтах та ґрунтових водах, який дозволяє оперативно обрати небезпечні технологічні ланки та тип обладнання, підготувати інформацію щодо параметричної ідентифікації математичних моделей (параграфи 3.2 та 4.2.) (рис. 6.7).

Ця складова інформаційно-аналітичного комплексу QR - управління надзвичайною ситуацією на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження шляхом ідентифікації небезпеки у ґрунтах та ґрунтових водах представляє собою інтерактивний інтерфейс, що містить повну базу ланок технологічного обладнання. При реалізації конкретного управлінського сценарію, керівник ліквідації НС може обрати з наявного переліку відповідну технологічну ланку, тоді як інформація про потенційні джерела небезпеки завантажується автоматично;

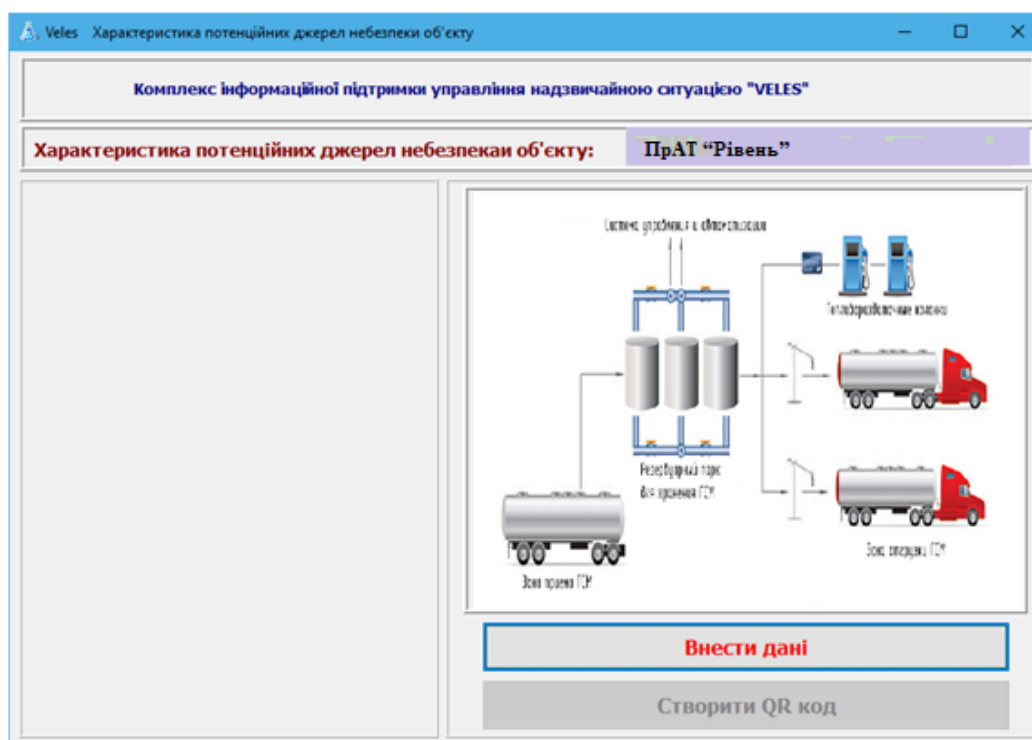


Рис. 6.7. Інтерфейс модуля «Характеристики джерел потенційної небезпеки» інформаційно-аналітичного комплексу QR - управління надзвичайною ситуацією техногенного характеру.

3) Блок аналізу ґрунтів на території об'єкту небезпечного виробництва – інтерфейс бази даних щодо характеристик електропровідності проб ґрунтів на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження шляхом ідентифікації небезпеки у ґрунтах та ґрунтових водах, який дозволяє оперативно визначити динаміку її зміни та, підготувати інформацію щодо параметричної ідентифікації математичної моделі (параграф 3.2) (рис. 6.8).

Ця складова інформаційно-аналітичного комплексу QR - управління надзвичайною ситуацією на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження шляхом ідентифікації небезпеки у ґрунтах та ґрунтових водах представляє собою інтерактивний інтерфейс, що містить повну базу точок забору проб ґрунту та зміни їх електропровідності протягом часу. Введені дані автоматично архівуються та трансформуються в частину загального QR коду.

Рис. 6.8. Інтерфейс модуля «Аналіз ґрунтів на території об'єкту небезпечного виробництва» інформаційно-аналітичного комплексу QR - управління надзвичайною ситуацією техногенного характеру.

4) Блок аналізу ґрунтових вод на території та за межами об'єкту хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження шляхом ідентифікації небезпеки у ґрунтах та ґрунтових водах – інтерфейс бази даних щодо характеристик електропровідності проб ґрунтових вод на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження шляхом ідентифікації небезпеки у ґрунтах та ґрунтових водах, який дозволяє оперативно визначити динаміку її зміни та, підготувати інформацію щодо параметричної ідентифікації математичної моделі (параграф 4.2) (рис. 6.9).

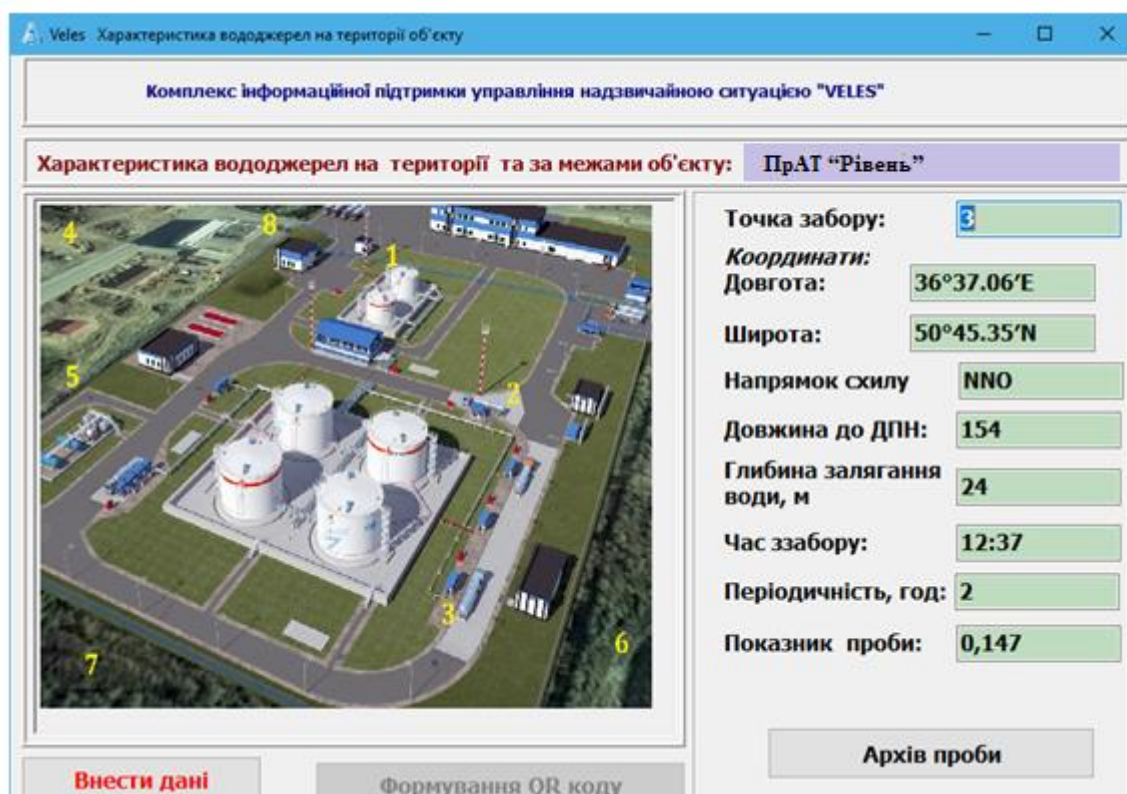


Рис. 6.9. Інтерфейс модуля «Аналіз ґрунтових вод на території об'єкту небезпечного виробництва» інформаційно-аналітичного комплексу QR - управління надзвичайною ситуацією техногенного характеру.

Ця складова інформаційно-аналітичного комплексу QR - управління

надзвичайною ситуацією на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження шляхом ідентифікації небезпеки у ґрунтах та ґрунтових водах представляє собою інтерактивний інтерфейс, що містить повну базу точок забору проб ґрунтових вод та зміни їх електропровідності протягом часу. Введені дані автоматично архівуються та трансформуються в частину загального QR коду.

5) Блок планування дій аварійно-рятувальних підрозділів з попередження надзвичайної ситуації техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження шляхом ідентифікації небезпеки у ґрунтах та ґрунтових водах – включає програмну реалізацію структурно-логічної моделі QR - управління надзвичайною ситуацією (розділ 2) та створеного на її базі керуючого алгоритму інформаційного доступу з подальшим плануванням заходів із забезпечення робіт з попередження НС техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження (рис. 6.10) [150]. Введені дані автоматично архівуються та трансформуються в частину загального QR коду, який візуалізується на геоінформаційній платформі.

Окремою частиною модуля є формування рекомендацій щодо забезпечення заходів безпеки життєдіяльності під час попередження надзвичайної ситуації техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження шляхом ідентифікації небезпеки у ґрунтах та ґрунтових водах (рис. 6.11).

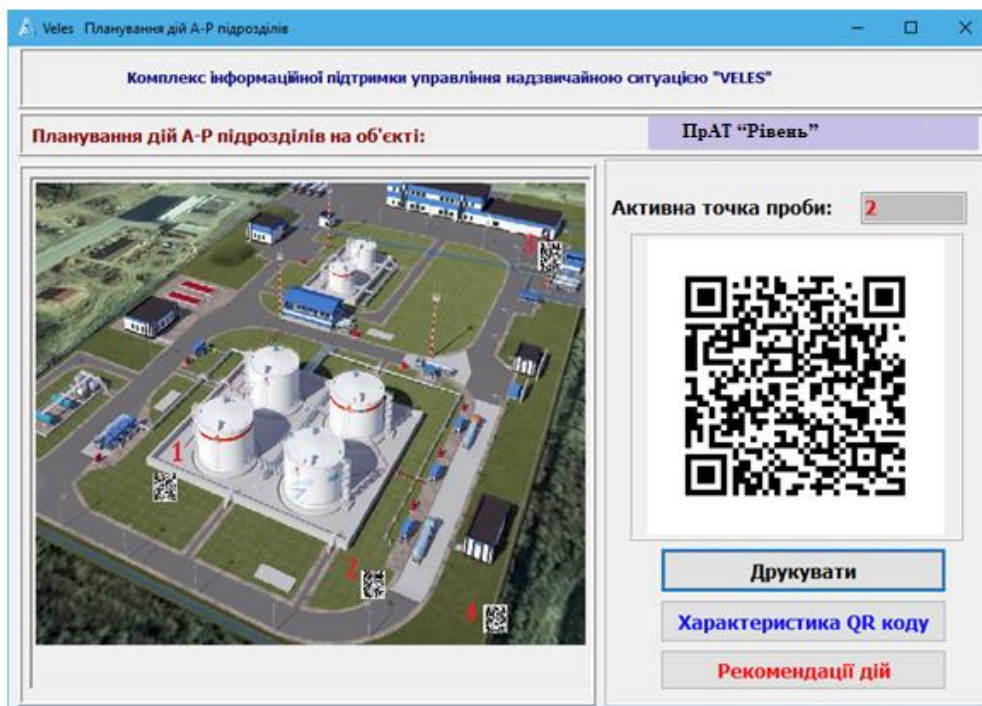


Рис. 6.10. Інтерфейс модуля «Планування дій аварійно-рятувальних підрозділів» інформаційно-аналітичного комплексу QR - управління надзвичайною ситуацією техногенного характеру.

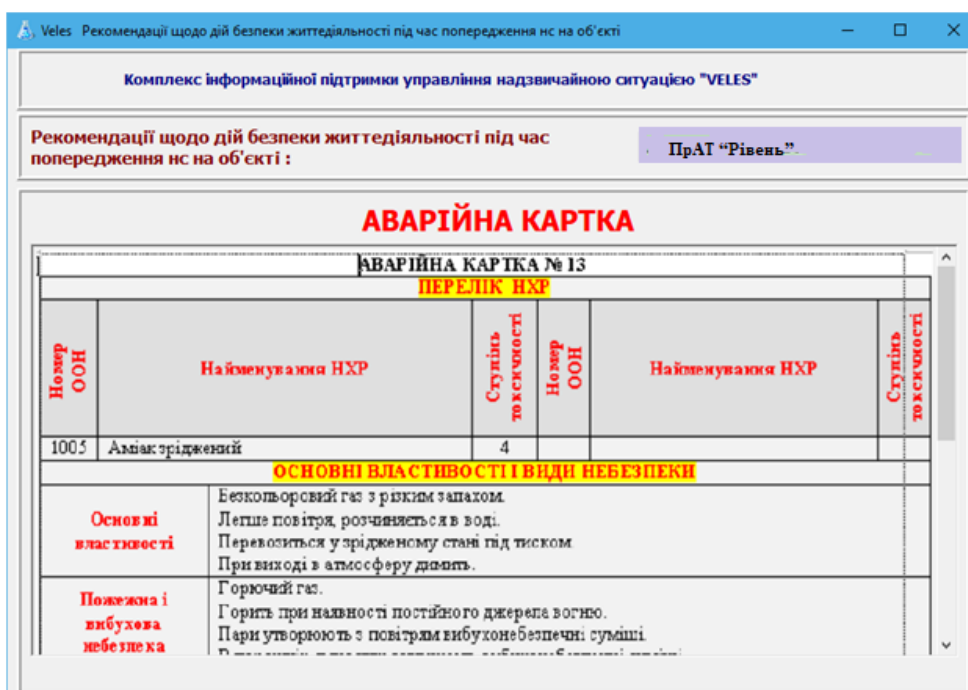


Рис. 6.11. Приклад роботи модуля «Планування дій аварійно-рятувальних підрозділів» інформаційно-аналітичного комплексу QR - управління надзвичайною ситуацією техногенного характеру.

У підсумку на основі отриманої інформації (модуль «Аналіз ґрунтів на території об'єкту небезпечного виробництва» та модуль «Аналіз ґрунтових вод на території та за межами об'єкту небезпечного виробництва») формується множина екзогенних параметрів, які є базою для подальшого формування антикризових управлінських рішень (модуль «Планування дій аварійно-рятувальних підрозділів») керівником з ліквідації наслідків надзвичайної ситуації техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження шляхом ідентифікації небезпеки у ґрунтах та ґрунтових водах [151, 152].

Таким чином, найбільш ефективним впровадженням розроблених моделей попередження надзвичайної ситуації техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження є їх апаратно-програмна реалізація, яка у вигляді інтегрованого до інформаційно-комунікативного середовища країн Європейської спільноти інформаційно-аналітичного комплексу QR - управління надзвичайною ситуацією техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження шляхом ідентифікації небезпеки у ґрунтах та ґрунтових водах, може використовуватися в системі інформаційної підтримки під час організації дій аварійно-рятувальних підрозділів ДСНС з ліквідації надзвичайних ситуацій на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження. Інформаційно-аналітичний комплекс може також використовуватися у вигляді інформаційного забезпечення персональних комп'ютерів у допоміжних аварійних службах різного ієрархічного рівня підпорядкування.

Висновки за шостим розділом

1. Зважаючи на орієнтацію України на європейські стандарти в сфері цивільного захисту, виникає потреба у необхідності узагальнення та

імплементатії міжнародного досвіду створення та функціонування систем управління в умовах надзвичайних ситуацій, на базі сучасних інформаційно-комунікативних технологій, насамперед надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження шляхом ідентифікації небезпеки у ґрунтах та ґрунтових водах.

2. Найбільш ефективним впровадженням розроблених моделей попередження надзвичайної ситуації техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження є їх апаратно-програмна реалізація, яка у вигляді інтегрованого до інформаційно-комунікативного середовища країн Європейської спільноти інформаційно-аналітичного комплексу QR- управління надзвичайною ситуацією техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження шляхом ідентифікації небезпеки у ґрунтах та ґрунтових водах, може використовуватися в системі інформаційної підтримки під час організації дій аварійно-рятувальних підрозділів ДСНС з ліквідації надзвичайних ситуацій на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження. Інформаційно-аналітичний комплекс може також використовуватися у вигляді інформаційного забезпечення персональних комп'ютерів у допоміжних аварійних службах різного ієрархічного рівня підпорядкування.

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі вирішена важлива науково-практична задача у сфері цивільного захисту, а саме задача підвищення ефективності попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження за рахунок впровадження QR – технології зберігання та відновлення інформації щодо ідентифікації небезпеки у ґрунті та ґрунтових водах.

1. Проаналізовані наслідки надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження. Всюди, як у провідних країнах світу, так і в країнах, що розвиваються та Україні вони призводять до чисельних жертв та значних матеріальних збитків. Це виникає у наслідок не тільки відсутності своєчасного оповіщення, відсутності достатньої кількості сил та засобів, але і у наслідок відсутності на цей час відповідного методичного забезпечення заходів з попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження шляхом завчасної ідентифікації небезпеки в ґрунті та ґрунтових водах.

2. Розроблено інформаційну модель попередження надзвичайних ситуацій на небезпечних об'єктах хімічної промисловості з надлишковим техногенним навантаженням за рахунок впровадження QR – технології зберігання та відновлення інформації, складається з двох контурів управління загального контуру (традиційного) і оперативного контуру, який функціонує при загрозі настання надзвичайної ситуації. Він складається з п'яти блоків, а саме: встановлення факту початку надзвичайної ситуації, визначення рівня QR доступу до інформації, прийняття рішення щодо введення в дію одного з варіантів використання сил та засобів ліквідації надзвичайної ситуації, розгортання сил і засобів ліквідації надзвичайної ситуації у відповідності до

рівня QR доступу визначеного у другому блоці, використання новітніх QR - технологій управління надзвичайною ситуацією.

3. Розроблено математичну модель попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження шляхом ідентифікації небезпеки у ґрунтах являє собою систему з п'яти аналітичних залежностей. Перша аналітична залежність описує процес трансформації гідрохімічного складу води в елементах ґрунту від часу та концентрації хімічно-небезпечної речовини зі складу забруднюючих продуктів. Друга – встановлює залежність руху води в ґрунті на території поширення небезпеки від часу катастрофічної події. Третя – визначає залежність розповсюдження хімічно-небезпечних речовин зі складу забруднюючих продуктів в елементах ґрунту в залежності від часу та інтенсивності впливу забруднюючих продуктів на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження. Четверта та п'ята залежності дозволяють визначити зміни коефіцієнту електропровідності проби ґрунту на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження в залежності від вмісту забруднюючих продуктів.

4. Розроблено математичну модель попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження шляхом ідентифікації небезпеки у ґрунтових водах являє собою систему з п'яти аналітичних залежностей. Перша аналітична залежність описує процес руху ґрунтових вод в зоні поширення надзвичайної ситуації на об'єкті хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження в залежності від гідравлічного напору та коефіцієнту водовіддачі. Друга – встановлює залежність процесу поширення забруднюючих продуктів в ґрунтових водах від коефіцієнту гідродинамічної дисперсії та швидкості ґрунтових вод. Третя – визначає залежність конвективної дифузії небезпечних речовин з урахуванням ентальпії процесу витоку забруднюючої

речовини на територію об'єкту хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження. Четверта - визначає ентальпію витоку забруднюючої речовини від щільності та потужності внутрішніх джерел тепла. П'ята - дозволяє визначити зміни коефіцієнту електропровідності проби ґрунтової води на території об'єкту хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження від вмісту забруднюючих продуктів.

5. Результати всіх натурних експериментів, отриманих в результаті статистичного аналізу динаміки змін хімічного складу ґрунтів та ґрунтових вод на об'єкті хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження як частина численних експериментів розташовуються в межах довірчих інтервалів, розрахованих відповідно до критерію Стюдента з надійністю 0,95, що свідчить про хорошу збіжність результатів експериментів і теоретичних розрахунків. Це в свою чергу підтверджує достовірність математичних моделей з попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження шляхом ідентифікації небезпеки у ґрунтах та ґрунтових водах.

6. Варіантами впровадженням розроблених моделей попередження надзвичайної ситуації техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження є їх апаратно-програмна реалізація, яка у вигляді інтегрованого до інформаційно-комунікативного середовища країн Європейської спільноти інформаційно-аналітичного комплексу QR - управління надзвичайною ситуацією техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження шляхом ідентифікації небезпеки у ґрунтах та ґрунтових водах, може використовуватися в системі інформаційної підтримки під час організації дій аварійно-рятувальних підрозділів ДСНС з ліквідації надзвичайних ситуацій на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження.

Інформаційно-аналітичний комплекс може також використовуватися у вигляді інформаційного забезпечення персональних комп'ютерів у допоміжних аварійних службах різного ієрархічного рівня підпорядкування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Anderson A.R., Wu J. Top Five Industries Resulting in Injuries from Acute Chemical Incidents — Hazardous Substance Emergency Events Surveillance, Nine States, 1999–2008. Morbidity and Mortality Weekly Report. Surveillance Summaries. 2015. Vol. 64, № 2. P. 47-53.
2. Willey R.J. West Fertilizer Company fire and explosion: A summary of the U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board report. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2017. Vol. 49, Part B. P. 132-138. DOI: 10.1016/j.jlp.2017.06.008
3. History of Recent Industrial Disasters in the United States. URL: <https://www.arnolditkin.com/personal-injury-blog/2015/july/history-of-recent-industrial-disasters-in-the-un/>
4. West Fertilizer Company explosion. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/West_Fertilizer_Company_explosion
5. Two workers die in accident at El Paso wastewater treatment plant. URL: <https://www.watertechonline.com/wastewater/article/15546530/two-workers-die-in-accident-at-el-paso-wastewater-treatment-plant>
6. EPA consent decree to cost Meridian \$126 million over 20 years. URL: https://www.meridianstar.com/news/epa-consent-decree-to.-cost-meridian-million-over-years/article_17a8321e-68e8-11e8-9fc5-0b815ea78128.html
7. Accident on the job at wastewater plant causes death of 2 workers. URL: <https://www.ldglaw.com/blog/2014/10/accident-on-the-job-at-wastewater-plant-causes-death-of-2-workers.shtml>
8. Evangeline Enterprises agrees to settlement for EPA violations. URL: <https://katc.com/news/around-acadiana/lafayette-parish/2018/10/31/evangeline-enterprises-agrees-to-settlement-for-epa-violations/>
9. Industrial Accident At Water Treatment Plant Makes It To State Supreme Court, Construction Accident At Same Facility In The Meantime. URL:

<https://christmasinjurylawyers.com/blog/industrial-accident-at-water-treatment-plant-makes-it-to-state-supreme-court/>

10. Case Summary: Removal Settlement Addresses Discharge of High pH Water into the North Fork Holston River in Virginia. URL: <https://www.epa.gov/enforcement/case-summary-removal-settlement-addresses-discharge-high-ph-water-north-fork-holston>

11. Case Summary: Third Party Settlement at Bunker Hill Site to Secure Wastewater Treatment and Remove a Barrier to New Mining Operations. URL: <https://www.epa.gov/enforcement/case-summary-third-party-settlement-bunker-hill-site-secure-wastewater-treatment-and>

12. 3 injured in wastewater treatment plant explosion. URL: <https://www.wtnh.com/news/connecticut/fairfield/3-injured-in-wastewater-treatment-plant-explosion/>

13. Environmental Response Laboratory Network (ERLN). URL: <https://www.epa.gov/emergency-response/environmental-response-laboratory-network>

14. Qu J., Meng X., Ye X., You H. Characteristic variation and original analysis of emergent water source pollution accidents in China between 1985 and 2013. *Environmental Science and Pollution Research*. 2016. Vol. 23, Iss. 19. P. 19675–19685. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7164-5>.

15. China chemical plant explosion kills 4. URL: <https://apnews.com/2abf3eff90ef45aca011adf5a6ef2330>.

16. Chinese Authorities Shut Industrial Park After Chemical Blast Kills 78 People. URL: <https://www.insurancejournal.com/news/international/2019/04/08/523146.htm>.

17. Insurance Claims from China's Tianjin Port Blasts Rise to \$3.5B: Swiss Re's 'sigma'. URL: <https://www.insurancejournal.com/news/international/2016/03/30/403468.htm>.

18. Massive Explosion at Chinese Pesticide Plant Kills at Least 64. URL: <https://www.insurancejournal.com/news/international/2019/03/25/521548.htm>.

19. Dai Y., Terui N., Lin Y. et al. Determination of nitrobenzene in water and ice samples collected from the Songhua River after an explosion of a petrochemical plant and investigation on enclosing behavior of nitrobenzene into ice. *Analytical sciences : the international journal of the Japan Society for Analytical Chemistry*. 2010. Vol. 26, Iss. 4. P 519–523. <https://doi.org/10.2116/analsci.26.519>

20. Gao Y., Xia J. Chromium Contamination Accident in China: Viewing Environment Policy of China. *Environmental Science & Technology*. 2011. Vol. 45, Iss. 20. P. 8605-8606 DOI: 10.1021/es203101f.

21. Zhang X.J., Chen C., Lin P.F. et al. Emergency drinking water treatment during source water pollution accidents in China: origin analysis, framework and technologies. *Environmental Science & Technology*. 2011. Vol. 45, Iss. 1. P. 161-167. DOI: 10.1021/es101987e.

22. Duan W., He B., Levy J. K. Emergency Response System for Pollution Accidents in Chemical Industrial Parks, China. *International journal of environmental research and public health*. 2015. Vol. 12. P. 7868-7885. doi:10.3390/ijerph120707868

23. Storey M.V., van der Gaag B., Burns B.P. Advances in on-line drinking water quality monitoring and early warning systems. *Water Research*. 2011. Vol. 45, Iss. 2. P. 741-747. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.08.049>

24. Water Management in Korea: Experiences and Achievements. August 2017. Ministry of Environment. 94 p.

25. Yoo B., Choi S.D. Emergency Evacuation Plan for Hazardous Chemicals Leakage Accidents Using GIS-based Risk Analysis Techniques in South Korea. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2019. Vol. 16. Iss. 11. 1948. <https://doi.org/10.3390/ijerph16111948>

26. Soil pollution cases on the increase. URL: <https://www.japantimes.co.jp/news/2002/02/27/national/soil-pollution-cases-on-the-increase/>

27. Water Environmental Management in Japan. URL: http://www.waternunc.com/jp/history_jp.htm
28. Minamata disease. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Minamata_disease
29. Itai-itai disease. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Itai-itai_disease
30. Mohan Rao P.V.J. Industrial accidents impact on environment. Global Journal of Engineering, Design and Technology. 2013.Vol. 2, Iss. 4. P. 41-42.
31. Ross H., Regier H. Pollution. The Canadian Encyclopedia. URL: <https://www.thecanadianencyclopedia.ca/en/article/pollution>.
32. Berman T. Canada's most shameful environmental secret must not remain hidden. URL: <https://www.theguardian.com/commentisfree/2017/nov/14/canadas-shameful-environmental-secret-tar-sands-tailings-ponds/>
33. Mosa A., Duffin J. The interwoven history of mercury poisoning in Ontario and Japan. CMAJ: Canadian Medical Association journal/journal de l'Association medicale canadienne. 2017. Vol. 189, Iss. 5 P. E213-E215. doi:10.1503/cmaj.160943
34. Third death in sewage treatment plant mishap at Delhi hotel. URL: <https://indianexpress.com/article/cities/delhi/third-death-in-sewage-treatment-plant-mishap-at-hotel-5167360/>
35. NHRC seeks report on death of 5 people at sewage treatment plant in Delhi. URL: <https://www.indiatoday.in/mail-today/story/nhrc-seeks-report-on-death-of-5-people-at-sewage-treatment-plant-in-delhi-1337309-2018-09-11s>
36. Tragedy at sewage plant was 'just a freak accident'. URL: <https://www.iol.co.za/news/south-africa/northern-cape/tragedy-at-sewage-plant-was-just-a-freak-accident-2088525>
37. AN INQUIRY INTO. The Death of Ten Tannery Workers at the Common Effluent Treatment Plant in Ranipet Tamil Nadu on January 31, 2015. A Fact-finding Report by Cividep India. 23 p. URL: <http://cividep.org/wp-content/uploads/2017/04/Ranipet-Tanneries-CETP-Mishap-Report-compressed.pdf>

38. Tourists in Europe are swimming in raw sewage despite 'Blue Flags'. URL: <https://www.waternewseurope.com/tourists-in-europe-are-swimming-in-raw-sewage-despite-blue-flags/>

39. Irish Water blasted for not letting swimmers know about Dublin Bay raw sewage leak. Gavin O'Callaghan. URL: <https://www.dublinlive.ie/news/dublin-news/irish-water-blasted-not-letting-15891305>

40. Is enough being done to keep Dublin Bay safe for swimmers this summer? URL: <https://www.thejournal.ie/cause-prevention-sewage-leaks-dublin-bay-4694943-Jun2019/>

41. Dechy N., Bourdeaux Th., Ayrault N. et al. First lessons of the Toulouse ammonium nitrate disaster, 21st September 2001, AZF plant, France. Journal of Hazardous Materials. 2004. Vol. 111, Iss.1–3. P. 131-138. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2004.02.039>.

42. Dechy N., Mouilleau Y. Damages of the Toulouse Disaster, 21st September 2001. Loss Prevention and Safety Promotion in the Process Industries. 11 th International Symposium. Loss Prevention 2004 Praha Congress Centre 31 May – 3 June 2004. P. 2353 – 2363.

43. Mapping the impacts of recent natural disasters and technological accidents in Europe. Environmental issue report № 35. EEA, Copenhagen, 2003, 54 p. ISBN: 92-9167-630-6

44. Raw sewage 'flowing into rivers across England and Wales'. URL: <https://www.theguardian.com/environment/2017/oct/16/raw-sewage-flowing-into-rivers-across-england-and-wales>

45. Untreated sewage and cyanide kill thousands of fish in river Tren. URL: <https://www.theguardian.com/uk/2009/oct/07/pollution-river-trent-investigation>

46. H. Blackburn, R. O'Neill and Ch. R.-Wilson et. al. Flushed away: How sewage is still polluting the rivers of England and Wales. WWF-UK, 2017. 70 p.

47. Teodosiu C., Robu B., Cojocariu C., Barjoveanu G. Environmental impact and risk quantification based on selected water quality indicators. Natural

Hazards. 2015. Vol. 75, Iss. 1 Suppl. P. 89–105. <https://doi.org/10.1007/s11069-013-0637-7>

48. Leščešen I., Dolinaj D., Pantelić M. et al. Statistical Analysis of Water Quality Parameters in Seven Major Serbian Rivers during 2004–2013 Period. *Water Resources*. 2018. Vol. 45, Iss. 3. P. 418–426. <https://doi.org/10.1134/S0097807818030089>

49. Obradović S., Pantelić M., Stojanović V. et al. Danube water quality and assessment on ecotourism in the biosphere reserve ‘Bačko Podunavlje’ in Serbia. *Water Supply*. 2020. Vol. 20, Iss. 4. P. 1215–1228. doi: <https://doi.org/10.2166/ws.2020.036>

50. Leščešen I., Pantelić M., Dolinaj D., Lukic T. Assessment of water quality of the Tisa river (Vojvodina, North Serbia) for ten year period using Serbian Water Quality Index (SWQI). *Geographica Pannonica*. 2014. Vol. 18, Iss. 4. P. 102-107. doi: 10.5937/GeoPan1404102

51. Takić L., Mladenović-Ranisavljević I., Vasović D., Đorđević L. The Assessment of the Danube River Water Pollution in Serbia. *Water, Air, & Soil Pollution*. 2017. Vol. 228. Article number: 380. <https://doi.org/10.1007/s11270-017-3551-x>

52. Tadić L., Šperac M., Karleuša B., Rubinić J. Water Quality Status of Croatian Surface Water Resources. From: Negm A., Romanescu G., Zelenakova M. (eds) *Water Resources Management in Balkan Countries*. Springer Water. Springer, Cham. 2020. P. 133 – 158. ISBN 978-3-030-22468-4. https://doi.org/10.1007/978-3-030-22468-4_6

53. Dimitrovska O., Radevski I., Gorin S. Water Quality and Pollution Status of the Main Rivers in the Republic of North Macedonia. From: Negm A., Romanescu G., Zelenakova M. (eds) *Water Resources Management in Balkan Countries*. Springer Water. Springer, Cham. 2020. P. 389-418. https://doi.org/10.1007/978-3-030-22468-4_15

54. Páll E., Niculae M., Kiss T. et al. Human impact on the microbiological water quality of the rivers. *Journal of medical microbiology*. 2013. Vol. 62, Iss. 11. P. 1635–1640. <https://doi.org/10.1099/jmm.0.055749-0>
55. Lenart-Boroń, A., Wolanin A., Jelonkiewicz E., Żelazny M. The effect of anthropogenic pressure shown by microbiological and chemical water quality indicators on the main rivers of Podhale, southern Poland. *Environmental science and pollution research international*. 2017. Vol. 24, Iss.14. P. 12938–12948. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8826-7>.
56. Saljnikov E., Mrvić V., Čakmak D. et al. Pollution indices and sources appointment of heavy metal pollution of agricultural soils near the thermal power plant. *Environmental Geochemistry and Health*. 2019, Vol. 41, Iss. 5. P. 2265–2279. <https://doi.org/10.1007/s10653-019-00281-y>
57. Zawadzki, J., Fabijańczyk, P., Magiera, T., Rachwał, M. Geostatistical Microscale Study of Magnetic Susceptibility in Soil Profile and Magnetic Indicators of Potential Soil Pollution. *Water, Air & Soil Pollution*. 2015. Vol. 226. Article number: 142. <https://doi.org/10.1007/s11270-015-2395-5>
58. Gruszecka A.M., Wdowin M. Characteristics and distribution of analyzed metals in soil profiles in the vicinity of a postflotation waste site in the Bukowno region, Poland. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2013. Vol. 185, Iss. 10. P. 8157–8168. DOI: 10.1007/s10661-013-3164-9
59. Astel A.M., Chepanova L., Simeonov, V. Soil Contamination Interpretation by the Use of Monitoring Data Analysis. *Water, Air, & Soil Pollution*. 2011. Vol. 216, Iss. 1–4. P. 375–390. <https://doi.org/10.1007/s11270-010-0539-1>
60. Bityukova L., Shogenova A., Birke M. Urban geochemistry: A study of element distributions in the soils of tallinn (Estonia). *Environmental Geochemistry and Health*. 2000. Vol. 22, Iss. 2. P. 173–193. <https://doi.org/10.1023/A:1006754326260>
61. Huremović J., Horvat M., Kotnik J. et al. Characterization of Mercury Contamination Surrounding a Chloralkali Production Facility in Tuzla, Bosnia and

Herzegovina. *Analytical Letters*. 2017. Vol. 50, Iss. 6. <https://doi.org/10.1080/00032719.2016.1205595>

62. Zupan M., Einax J.W., Kraft J. et al. Chemometric characterization of soil and plant pollution: Part 1: Multivariate data analysis and geostatistical determination of relationship and spatial structure of inorganic contaminants in soil. *Environmental Science and Pollution Research*. 2000. Vol. 7, Iss. 2. P. 89–96. <https://doi.org/10.1065/espr199910.008>

63. Horváth A., Szűcs P., Bidló A. Soil condition and pollution in urban soils: evaluation of the soil quality in a Hungarian town. *Journal of Soils and Sediments*. 2015. Vol. 15, Iss. 8. P. 1825–1835. <https://doi.org/10.1007/s11368-014-0991-4>

64. Juhos K., Czigány S., Madarász B., Ladányi M. Interpretation of soil quality indicators for land suitability assessment – A multivariate approach for Central European arable soils. *Ecological Indicators*. 2019. Vol. 99. P. 261-272. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.11.063>

65. Kowalska J.B., Mazurek R., Gąsiorek M., Zaleski Z. Pollution indices as useful tools for the comprehensive evaluation of the degree of soil contamination—A review. *Environmental Geochemistry and Health*. 2018. Vol. 40, Iss. 6. P. 2395–2420. <https://doi.org/10.1007/s10653-018-0106-z>

66. Głąb T., Żabiński A., Sadowska U. et al. Effects of co-composted maize, sewage sludge, and biochar mixtures on hydrological and physical qualities of sandy soil. *Geoderma*. 2018. Vol. 315. P. 27-35. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.11.034>

67. Charzyński P., Plak A. & Hanaka A. Influence of the soil sealing on the geoaccumulation index of heavy metals and various pollution factors. *Environmental Science and Pollution Research*. 2017. Vol. 24, Iss. 5. P. 4801–4811. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-8209-5>

68. Demková L., Árvay J., Bobuľská L. et al. Open mining pits and heaps of waste material as the source of undesirable substances: biomonitoring of air and soil pollution in former mining area (Dubník, Slovakia). *Environmental Science*

and Pollution Research. 2019. Vol. 26, Iss. 34. P. 1–13.
<https://doi.org/10.1007/s11356-019-06582-0>

69. Hanauer T., Pohlenz C., Kalandadze B. et al. Soil distribution and soil properties in the subalpine region of Kazbegi; Greater Caucasus; Georgia: Soil quality rating of agricultural soils. *Annals of Agrarian Science*. 2017. Vol. 15, Iss. 1. P. 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.aasci.2016.12.001>

70. South Eastern Europe Disaster Risk Mitigation and Adaptation Initiative. Risk Assessment for South Eastern Europe. Desk Study Review. UN/ISDR-13-2008-Geneva. 86 p.

71. Waste released into Vistula. Serious malfunction at "Czajka" sewage treatment plant. URL: <https://www.tvn24.pl/tvn24-news-in-english,157,m/poland-accident-in-sewage-treatment-plant-waste-released-into-vistula,964916.html>

72. The red toxic sludge that has been flowing in Hungary for five days has reached the Danube, raising fears of a cross-border European ecological disaster. URL: <https://www.france24.com/en/20101008-red-toxic-mud-industrial-accident-reaches-danube-river-hungary-europe-disaster-environment>

73. Water pollution from a cyanide spill in Eastern Europe. URL: https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/fiche_detaillee/17265_en/?lang=en

74. Csagoly P. (Ed.) The Cyanide Spill at Baia Mare, Romania. Before, during and after. UNEP/OCHA Report on the Cyanide Spill at Baia Mare, Romania. The Regional Environmental Center for Central and Eastern Europe, June 2000. 8 p.

75. The Ecological Effects of Mining Spills in the Tisza River System in 2000. Vienna, WWF 2002. 39 p.

76. Mining waste spill from the Baia Borsa processing complex in Romania. Assessment Mission to Hungary and Romania. UNDAC MISSION REPORT. United Nations Environment Programme, UNEP/ Office for the Co-ordination of Humanitarian Affairs, OCHA. Geneva, March 2000. 32 p.

77. Balkan vital graphics environment without borders. UNEP/GRID-Arendal. 2007. 84 p.

78. EEA Report No 1/2010. Environmental trends and perspectives in the Western Balkans: future production and consumption patterns. EEA, Copenhagen. 2010. 41 p.

79. Mining and Environment in the Western Balkans. Ed. Ch. Stuhlberger. UNEP / ENVSEC. 107 p.

80. Water and health in Europe : a joint report from the European Environment Agency and the WHO Regional Office for Europe /ed. by Jamie Bartram et al. (WHO regional publications. European series No. 93). World Health Organization. 2002. 223 p.

81. Шимановская Е. Аварии на промышленных установках, предупреждение их возникновения, влияние последствий на реку Днепр. URL: https://www.unecse.org/fileadmin/DAM/env/teia/doc/Slubice_09/21/Shymanovska Olena-RU.pdf

82. Закон України «Про оцінку впливу на довкілля» від 23 травня 2017 року № 2059-VIII. Відомості Верховної Ради (ВВР), 2017, № 29, ст. 315. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2059-19>.

83. Рідей Н.М., Захаркевич І.В. Екологічний контроль за якістю поверхневих водних джерел озер навчально - дослідного господарства «Великоснітинське» ім. Музиченка. Вісник Запорізького національного університету. 2008. № 2. С. 172 -176

84. Екологічна оцінка якості поверхневих вод суші та естуарів України: Методика . КНД 211.1.4.010- 94. – К ., 1994 – 37 с.

85. Вільдман І.Л. Наукові основи створення системи інтегральних біоценотичних методів контролю водних систем (на прикладі р. Інгулець). Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека. Київ, 2015. 222 с.

86. В. Старчак, Г. Мачульський, С. Цибуля, О. Мачульський. Оцінка техногенного впливу на екологічну безпеку техноприродних систем. Стандартизація. Сертифікація. Якість. 2014. № 3. С. 53 – 58.

87. Нетробчук І. М. Оцінка якості поверхневих вод правобережних приток басейну Прип'яті у Волинській області. Науковий вісник Волинського державного університету імені Лесі Українки. 2007. № 2. С. 260-265.

88. Клименко В. Г. Екологічна оцінка якості води річки Харків у межах України. Проблеми безперервної географічної освіти і картографії. 2012. Вип. 16. С. 40-44.

89. Комплексні експедиційні дослідження екологічного стану водних об'єктів басейну р. Уди (суббасейну р. Сіверський Донець)/ О.Г. Васенко, М.Л. Лунгу, Ю.А. Ільєвська, О.В. Клімов та ін.; під ред. О.Г. Васенко. Х.: ВД «Райдер», 2006. 156 с.

90. Нетробчук І.М., Боярин М.В.. Екологічна оцінка сучасного стану якості води річки Студянка. Природа Західного Полісся та прилеглих територій : зб. наук. пр. Волин. нац. ун-т ім. Лесі Українки. 2008. № 5. С. 31-35.

91. Рябич О.М., Магась Н.І. Комплексна оцінка якості води річки Південний Буг у межах Миколаївської області. Вісник НУК. 2010. № 5. URL: <http://evn.nuos.edu.ua/article/view/25064/22517>

92. Магась Н.І., Трохименко А.Г. Оцінка сучасного антропогенного навантаження на басейн річки Південний Буг. Екологічна безпека. 2013. Вип. 2. С. 48-52.

93. Методика розрахунку антропогенного навантаження і класифікації екологічного стану басейнів малих річок України/ УНДІВЕП. Вид. 2-ге, перероб. і доп.. □ К.: □Полімед. □2007. □ 71 с

94. Лосєв М.Ю., Мілька І.В. Оцінка якості поверхневих вод басейну річки Салгир. Системи обробки інформації. 2011. Вип. 3. С. 199-202.

95. Трапезнікова Л.В., Висоцька Н.В., Мониц І.І., Тюпа М.О. Оцінка якості води та екологічний стан поверхневих та ґрунтових вод суббасейну р. Убля. Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: Хімія. 2011. № 1. С. 94-101.

96. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями/ В.Д. Романенко, В.М. Жукинський, О.П. Оксіюк, А.В. Яцик. К.: Символ-Т, 1998. 28 с.

97. Степова О.В., Рома В.В. Оцінка біогенного забруднення поверхневих водойм Полтавської області. Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2016. №1-2. С. 93 -97 \

98. Сніжко С.І. Оцінка та прогнозування якості природних вод: підручник К.: Ніка-Центр, 2001. 264 с.

99. Васенко А.Г., Ільєвська Ю.А. Сучасний гідрохімічний стан водосховища Сасик. Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення. Міжнародна науково-практична конференція м. Алушта, АР Крим, Україна, 12-16 вересня 2005 р. Збірник наукових статей у 2-х т. Т. 1. УкрНДІЕП. Х.: Райдер, 2005. С. 228 - 232.

100. Экологическое состояние трансграничных участков рек бассейна Днепра на территории Украины/ Под ред. А.Г. Васенко и С.А. Афанасьева. К.: Академперіодика, 2002. 355 с.

101. Організація та здійснення спостережень за забрудненням поверхневих вод (в системі Мінекоресурсів). КНД 211.1.1.106-2003: Чинний від 1 жовтня 2003 р. К.: Мінприроди, 2003 р. 53 с.

102. Осадчий В.С., Блажко А.П. Екологічна оцінка якості поверхневих вод р. Великий Куяльник на території Одеської області. Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. 2016. Вип. № 63. С. 242 – 248.

103. Старчак В.Г., Цибуля С.Д., Пушкарьова І.Д. та інш. Інтегральна оцінка в аналізі та управлінні регіональною екологічною безпекою. Екологічна безпека. 2010. № 2/2010(10). С. 7 - 11.

104. Маджд С.М., Кулинич Я.И. Наукова методологія оцінювання екологонебезпечних ризиків функціонування техногенно-змінених водних екосистем. Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. 2017. Випуск 4(105). С. 88-95.

105. Удод В.М., Маджд С.М., Кулинич Я. І. Регіональні особливості структурно-функціональної організації розвитку техногенно змінених водних екосистем. Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. 2017. Випуск 3(104), ч. 1. С. 93-99.

106. Юрасов С.М., Кур'янова С.О., Юрасов М.С. Комплексна оцінка якості вод за різними методиками та шляхи її вдосконалення. Український гідрометеорологічний журнал. 2009. № 5. С. 42 – 53.

107. Крайнюков О.М., Тімченко В.Д. Удосконалення комплексної оцінки екологічного стану та якості води водних об'єктів. Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія: Екологія. 2016. Вип. 14. С. 9 - 14.

108. Шахман І.О., Лобода Н.С. Оцінка якості води у створі р. Інгулець – м. Снігурівка за гідрохімічними показниками. Український гідрометеорологічний журнал. 2016. № 17. С. 123 - 136.

109. Korchemlyuk M., Arkhyrova L. Estimation of key pressures on Prut river basin in Ukraine. Екологічна безпека. 2015. № 1/2015 (19). С. 41-45.

110. Development of draft river basin management plan for selected pilot basin in Ukraine - the Prut basin. Environmental protection of international river basins project. Prepared by UNENGO "MAMA-86". 2015. 84 p. URL: http://blacksea-riverbasins.net/sites/default/files/PRUT%20eng%20UA%20RBMP_0.pdf

111. Ясенчук Т.О. Оцінка антропогенного навантаження на басейн р. Ірпінь у сучасних умовах землекористування. Меліорація і водне господарство. 2011. Вип. 99. С. 160-168.

112. Гідролого-гідрохімічна характеристика мінімального стоку річок басейну Дніпра./ В.К. Хільчевський, І.М. Ромась, М.І. Ромась, В.В. Гребінь,

І.О. Шевчук, О.В. Чунар'ов; за ред. В.К.Хільчевського.К.: Ніка–Центр, 2007. 184 с.

113. Мирон І.В. Використання та якість води річки Десни в межах Чернігівської області. Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту. Випуск 251. С. 150-155.

114. Хоменко О.М., Гайдар І.О. Аналіз екологічного стану малих річок Черкаської області (на прикладі р. Золотоношка). Екологічна безпека. 2010. № 2/2010(10). С. 39 - 42.

115.Diviziniuk M.M. Popov O.O., Kovach V.O. et al. Informational and technical methods of environmental monitoring in condition of technogenic emergency situation. Системи обробки інформації. 2015. Вип. 10. С. 182-186.

116. Попов О.О., Ковач В.О., А.В. Яцишин А.В, Бурлака С.О. Нові методи моніторингу довкілля для попередження техногенних надзвичайних ситуацій. Техногенна безпека та цивільний захист. 2015. № 9. С.116-123.

117. 20 років після каналізаційної катастрофи. Харків досі ризикує піти під землю. URL: <https://kh.depo.ua/rus/kh/harkiv-cherez-20-rokiv-pislya-avariyi-na-dikanivskih-ochisnih--07072015150000>

118. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2001 році. URL:https://www.dsns.gov.ua/files/prognoz/report/2001/AO_2001.pdf

119. Постанова КМУ від 2 січня 1996 р. № 108 «Про причини аварії на головній насосній станції Диканівських очисних споруд м.Харкова, ліквідацію її наслідків і заходи щодо забезпеченнябезаварійної роботи підприємств водопровідно-каналізаційного господарства».

120. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2002 році. URL:https://www.dsns.gov.ua/files/prognoz/report/2002/AO_2002.pdf

121. Аварія самоплинного колектора у Лубнах створила загрозу надзвичайної ситуації в області. URL: <https://poltava.to/news/47227/>

122. Аналітичний огляд стану техногенної та природної безпеки в Україні за 2018 рік. Київ. 2019. URL: <https://www.dsns.gov.ua/ua/Analitichniy-oglyad-stanu-tehnogennoyi-ta-prirodnoyi-bezpeki-v--Ukrayini-za-2018-rik.html>

123. У Херсоні 73 тисячі людей залишилися без води. ТСН. Україна. URL: <https://tsn.ua/ukrayina/u-hersoni-73-tisyachi-lyudei-zalishilisya-bez-vodi.html>

124. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2008 році. URL: https://www.dsns.gov.ua/files/prognoz/report/2008/AO_2008.pdf

125. Очисні споруди Херсонської області – в катастрофічному стані. URL: <https://ecoclubua.com/2010/09/ochysni-sporudy-hersonskoj-oblasti-v-katastrofichnomu-stani/>

126. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2010 році. URL: https://www.dsns.gov.ua/files/prognoz/report/2010/AO_2010.pdf

127. Інформаційно-аналітична довідка про надзвичайні ситуації в Україні, що сталися впродовж 2015 року. URL: <https://www.dsns.gov.ua/ua/Dovidka-za-kvartal/44615.html>

128. Аналітичний огляд стану техногенної та природної безпеки в Україні за 2015 рік. Київ. 2016. URL: <https://www.dsns.gov.ua/ua/Analitichniy-oglyad-stanu-tehnogennoyi-ta-prirodnoyi-bezpeki-v--Ukrayini-za-2015-rik.html>

129. Для запобігання виникнення надзвичайної ситуації через аварію на колекторі потрібне виділення коштів з резервного фонду міста та області. URL: https://bmr.gov.ua/index.php?id=800000125&tx_news_pi1%5Bnews%5D=12736&tx_news_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx_news_pi1%5Baction%5D=detail&cHash=832a4220b5f22e241a1a31ccc200e148

130. На очисних спорудах Львова сталася аварія через скид забруднюючих речовин. URL: <https://dyvys.info/2019/07/17/na-ochysnyh-sporudah-lvova-stalasya-avariya-cherez-skyd-zabrudnyuyuchyih-rechovyn/>

131. Вовчук Т.С., Дейнеко Н.В., Левтеров О.А., Шевченко Р.І. Аналіз інформаційних умов формування структурно-логічної моделі управління надзвичайною ситуацією в умовах відсутності електропостачання внаслідок пошкодження електромереж // Науково-технічний збірник «Комунальне господарство міст». Серія: Технічні науки та архітектура. Х.:ХНАМГ 2020, 4 (157). С. 97-102.

132. Вовчук Т.С., Дейнеко Н.В., Кіреєв О.О., Левтеров О.А., Шевченко Р.І. Альтернативні джерела живлення та їх деградаційна стійкість в умовах надзвичайних ситуацій техногенного характеру // Інженерія природокористування. 2020. № 4(18). С. 7-13.

133. Вовчук Т.С., Шевченко Р.І. Інформаційно-аналітичне забезпечення процесу попередження надзвичайних ситуацій на об'єктах хімічної промисловості // Проблеми надзвичайних ситуацій. Харків: НУЦЗУ, 2021. Вип. 34 (2). С. 255-271.

134. T.S. Vovchuk, J.L. Wilk-Jakubowski, V.M. Telelim, V.M. Loboichenko, O.S. Shevchenko, N.S. Tregub, R.I. Shevchenko Investigation of the use of the acoustic effect in extinguishing fires of oil and petroleum products // SOCAR Proceedings Special Issue No.2 (2021) 024-031.

135. Вовчук Т., Лобойченко В., Рашкевич Н., Шевченко О., Шевченко Р. 7.3 Формування інформаційної QR – технології моніторингу стану поверхневих вод на територіях, які постраждали внаслідок бойових дій // Scientific foundations in research in Engineering: collective monograph / Korniylo I., Gnyr O. – etc. – International Science Group. – Boston : Primedia eLaunch, 2022. 357-368 p.

136. Vovchuk T.S. Shevchenko R.I. Actuality and basis concepts of the expert-statistical model for preventing emergency situations // 8 Міжнародна НТК «Проблеми інформатизації». Тези доповідей, Том.3, Черкаси-Харків-Баку-Бельсько-Бяла, 2020. С. 50.

137. Вовчук Т.С., Шевченко О.С., Шевченко Р.І. Використання технологій QR - кодування на об'єктах критичної інфраструктури //

Кібербезпека в Україні: правові та організаційні питання: матеріали міжн. наук. практ. конф., Одеса, ОДУВС, 2020. С. 46-48.

138. Вовчук Т.С., Зобенко О.О., Шевченко Р.І. Розробка інформаційної технології попередження надзвичайних ситуацій та пожеж енергопервантажених приміщеннях об'єктів критичної інфраструктури // Одинадцята міжнародна науково-технічна конференція "Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління". 2021. Баку-Харків-Київ-Жиліна. - С. 89.

139. Вовчук Т.С., Шевченко Р.І. Використання технологій QR – кодування в системах підтримки дій керівника ліквідації НС на об'єктах критичної інфраструктури // Міжнародна науково-практична конференція молодих вчених "Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту" Харків: НУЦЗУ, 2021. – С. 271.

140. Вовчук Т. С., Шевченко О. С., Шевченко Р.І. Інтеграція вітчизняних підходів з попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на небезпечних виробництвах в інформаційно-аналітичний простір країн Європейської Спільноти // Спроможності функціональних та територіальних підсистем ЄДСЦЗ для оперативного розв'язання завдань за призначенням : Матеріали 22 Всеукраїнської науковопрактичної конференції (за міжнародною участю). Електронне наукове видання комбінованого використання. Київ : ІДУ НД ЦЗ, 2021. 49-54 с.

141. Вовчук Т. С., Шевченко О. С., Шевченко Р.І. Обґрунтування необхідності застосування сучасних qr-технологій в процесі попередження надзвичайних ситуацій на об'єктах критичної інфраструктури // Надзвичайні ситуації: безпека та захист: Матеріали XI Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю. – Черкаси: ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2021. – С. 149.

142. Вовчук Т.С., Шевченко Р.І. розробка системи інформаційної підтримки дій з попередження надзвичайних ситуацій на об'єктах хімічної промисловості // Сучасні аспекти модернізації науки: стан, проблеми,

тенденції розвитку: матеріали XIX Міжнародної науково-практичної конференції. Вільнюс: ГО «ВАДНД», 2022 р. С. 289-292.

143. Divizinyuk M., Vovchuk T., Shevchenko O., Shevchenko R. Conditions for the integration of qr-technology for the prevention of man-made emergencies at critical infrastructure in the information and analytical space of the european community // Innovations and prospects of world science. Proceedings of the 9th International scientific and practical conference. Perfect Publishing. Vancouver, Canada. 2022. Pp. 154-159.

144. Вовчук Т.С., Шевченко Р.І. Можливості використання технологій qr – кодування при запровадженні ризик-орієнтованого підходу з оцінки небезпеки нс на об'єктах критичної інфраструктури // Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту: матеріали міжнародної науково-практичної конференції молодих учених. Харків: НУЦЗУ, 2022. С. 214.

145. Vovchuk T. , Shevchenko O., Shevchenko R. Formation of information basis on the organization of emergency monitoring at chemical facilities // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми пожежної безпеки 2022» («Fire Safety Issues 2022»). – Х.: НУЦЗ України, 2022. – 261-263.

146. Вовчук Т.С., М'ясоєдова А.В., Шевченко Р.І. Застосування інформаційних технологій у питаннях попередження надзвичайних ситуацій на об'єктах хімічної промисловості // International scientific conference «Information technologies and management in higher education and sciences» : conference proceedings (Fergana, the Republic of Uzbekistan). Part 1. Riga, Latvia: —Baltija Publishing, 2022. P.189-192.

147. Вовчук Т.С., Нешпор О.В., Шевченко Р.І. Інформаційні технології у питаннях попередження надзвичайних ситуацій внаслідок пожежі на об'єктах критичної інфраструктури // Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту: матеріали міжнародної науково-практичної конференції молодих учених. Харків: НУЦЗУ, 2023. 229 с.

148. Вовчук Т., Шевченко О., Шевченко Р. Інноваційні технології з попередження надзвичайних ситуацій на об'єктах хімічної промисловості // Перспективні напрямки наукових досліджень щодо технічного та тилового забезпечення національної гвардії України/ Матеріали науково-практичної конференції. Харків. НАНГУ. 2023. С. 6-7.

149. Vovchuk T., Shevchenko R. Application of innovative technologies in issues of preventing emergency situations at critical infrastructure facilities // Наука про цивільний захист як шлях становлення молодих вчених / Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції курсантів, студентів, ад'юнктів (аспірантів). – Черкаси: Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2023. С. 291-292.

150. Vovchuk T., Shevchenko O., Shevchenko R. Information technologies for the prevention of emergency situations at chemical industry facilities // Challenges and threats to critical infrastructure. Collective monograph - NGO Institute for Cyberspace Research (Detroit, Michigan, USA), 2023. - p. 160.

151. Вовчук Т.С., Шевченко О.С., Шевченко Р.І. Інформаційна підтримки дій з попередження надзвичайних ситуацій на об'єктах критичної інфраструктури // Об'єднання теорії та практики – запорука підвищення готовності оперативно-рятувальних підрозділів до виконання дій за призначенням. Матеріали круглого столу. – Харків: Національний університет цивільного захисту України, 2023. С. 56-58.

152. Вовчук Т., Шевченко О., Шевченко Р. Використання технологій quick response для попередження надзвичайних ситуацій на об'єктах критичної інфраструктури в умовах впливів воєнного часу // VI Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених, студентів і курсантів інформаційна безпека та інформаційні технології. Львів. ЛДУБЖД. 2023. С. 248-250.

ДОДАТОК А

Список публікацій здобувача за темою дисертації

Наукові праці, у яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

Статті у наукових фахових виданнях України, що входять до міжнародних наукометричних баз:

A1. **Вовчук Т.С.,** Дейнеко Н.В., Левтеров О.А., Шевченко Р.І. Аналіз інформаційних умов формування структурно-логічної моделі управління надзвичайною ситуацією в умовах відсутності електропостачання внаслідок пошкодження електромереж // Науково-технічний збірник «Комунальне господарство міст». Серія: Технічні науки та архітектура. Х.:ХНАМГ 2020, 4 (157). С. 97-102.

(Здобувачці особисто належать аналіз літературних та інформаційних джерел та формування логічних зав'язків структурно-логічної моделі управління надзвичайною ситуацією техногенного характеру)

A2. **Вовчук Т.С.,** Дейнеко Н.В., Кіреєв О.О., Левтеров О.А., Шевченко Р.І. Альтернативні джерела живлення та їх деградаційна стійкість в умовах надзвичайних ситуацій техногенного характеру // Інженерія природокористування. 2020. № 4(18). С. 7-13.

(Здобувачці особисто належить розробка методики аналізу небезпек на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження)

A3. **Вовчук Т.С.,** Шевченко Р.І. Інформаційно-аналітичне забезпечення процесу попередження надзвичайних ситуацій на об'єктах хімічної промисловості // Проблеми надзвичайних ситуацій. Харків: НУЦЗУ, 2021. Вип. 34 (2). С. 255-271.

(Здобувачці особисто належить розробка інформаційної моделі та алгоритмів побудови інформаційно-аналітичного забезпечення процесу

попередження надзвичайних ситуацій на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження)

A4. **T.S. Vovchuk**, J.L. Wilk-Jakubowski, V.M. Telelim, V.M. Loboichenko, O.S. Shevchenko, N.S. Tregub, R.I. Shevchenko Investigation of the use of the acoustic effect in extinguishing fires of oil and petroleum products // SOCAR Proceedings Special Issue No.2 (2021) 024-031 (Scopus).

(Здобувачці особисто належить розробка математичних моделей попередження надзвичайних ситуацій шляхом ідентифікації небезпеки в ґрунтах на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження)

A5. **Вовчук Т.**, Лобойченко В., Рашкевич Н., Шевченко О., Шевченко Р. Формування інформаційної QR – технології моніторингу стану поверхневих вод на територіях, які постраждали внаслідок бойових дій // Scientific foundations in research in Engineering: collective monograph / Kornyllo I., Gnyr O. – etc. – International Science Group. – Boston : Primedia eLaunch, 2022. 357-368 p.

(Здобувачці особисто належить розробка математичної моделі попередження надзвичайних ситуацій шляхом ідентифікації небезпеки в ґрунтових водах на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження).

A6. Рашкевич Н.В., Шевченко Р.І., **Вовчук Т.С.** Формування математичної моделі аналізу небезпечного впливу на стан ґрунтових вод міських агломерацій від ракетно-артилерійських уражень // Науково-технічний збірник «Комунальне господарство міст». Серія: Технічні науки та архітектура. Х.:ХНАМГ 2024, том 1, випуск 182. С. 229- 240.

(Здобувачці особисто належить розробка математичної моделі попередження надзвичайних ситуацій шляхом ідентифікації небезпеки в ґрунтових водах на об'єктах хімічної промисловості в зоні розвитку надзвичайної ситуації).

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

A7.Vovchuk T.S., Shevchenko R.I. Actuality and basis concepts of the expert-statistical model for preventing emergency situations // 8 Міжнародна НТК «Проблеми інформатизації». Тези доповідей, Том.3, Черкаси-Харків-Баку-Бельсько-Бяла, 2020. С. 50.

(Здобувачці особисто належить розробка математичних моделей попередження надзвичайних ситуацій шляхом ідентифікації небезпеки в ґрунтах на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження)

A8. Вовчук Т.С., Шевченко О.С., Шевченко Р.І. Використання технологій QR - кодування на об'єктах критичної інфраструктури // Кібербезпека в Україні: правові та організаційні питання: матеріали міжн. наук. практ. конф., Одеса, ОДУВС, 2020. С. 46-48.

(Здобувачці особисто належить розробка інформаційної моделі та алгоритмів побудови інформаційно-аналітичного забезпечення процесу попередження надзвичайних ситуацій на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження)

A9. Вовчук Т.С., Зобенко О.О., Шевченко Р.І. Розробка інформаційної технології попередження надзвичайних ситуацій та пожеж енергопервантажених приміщеннях об'єктів критичної інфраструктури // Одинадцята міжнародна науково-технічна конференція “Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління”. 2021. Баку-Харків-Київ-Жиліна. - С. 89.

(Здобувачці особисто належить розробка методики аналізу небезпек на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження)

A10. Вовчук Т.С., Шевченко Р.І. Використання технологій QR – кодування в системах підтримки дій керівника ліквідації НС на об'єктах критичної інфраструктури // Міжнародна науково-практична конференція

молодих вчених "Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту" Харків: НУЦЗУ, 2021. – С. 271.

(Здобувачці особисто належить розробка інформаційної моделі та алгоритмів побудови інформаційно-аналітичного забезпечення процесу попередження надзвичайних ситуацій на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження)

A11. **Вовчук Т.С., Шевченко О. С., Шевченко Р.І.** Інтеграція вітчизняних підходів з попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на небезпечних виробництвах в інформаційно-аналітичний простір країн Європейської Спільноти // Спроможності функціональних та територіальних підсистем ЄДСЦЗ для оперативного розв'язання завдань за призначенням: Матеріали 22 Всеукраїнської науково-практичної конференції (за міжнародною участю). Електронне наукове видання комбінованого використання. Київ : ІДУ НД ЦЗ, 2021. 49-54 с.

(Здобувачці особисто належать аналіз літературних та інформаційних джерел та формування логічних зав'язків структурно-логічної моделі управління надзвичайною ситуацією техногенного характеру)

A12. **Вовчук Т.С., Шевченко О.С., Шевченко Р.І.** Обґрунтування необхідності застосування сучасних qr-технологій в процесі попередження надзвичайних ситуацій на об'єктах критичної інфраструктури // Надзвичайні ситуації: безпека та захист: Матеріали XI Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю. – Черкаси: ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2021. – С. 149.

(Здобувачці особисто належить розробка інформаційної моделі та алгоритмів побудови інформаційно-аналітичного забезпечення процесу попередження надзвичайних ситуацій на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження)

A13. **Вовчук Т.С., Шевченко Р.І.** розробка системи інформаційної підтримки дій з попередження надзвичайних ситуацій на об'єктах хімічної промисловості // Сучасні аспекти модернізації науки: стан, проблеми,

тенденції розвитку: матеріали XIX Міжнародної науково-практичної конференції. Вільнюс: ГО «ВАДНД», 2022 р. С. 289-292.

(Здобувачці особисто належить розробка інформаційної моделі та алгоритмів побудови інформаційно-аналітичного забезпечення процесу попередження надзвичайних ситуацій на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження)

A14. Divizinyuk M., **Vovchuk T.**, Shevchenko O., Shevchenko R. Conditions for the integration of qr-technology for the prevention of man-made emergencies at critical infrastructure in the information and analytical space of the european community // Innovations and prospects of world science. Proceedings of the 9th International scientific and practical conference. Perfect Publishing. Vancouver, Canada. 2022. Pp. 154-159.

(Здобувачці особисто належить розробка математичних моделей попередження надзвичайних ситуацій шляхом ідентифікації небезпеки в ґрунтах на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження)

A15. **Вовчук Т.С.**, Шевченко Р.І. Можливості використання технологій qr – кодування при запровадженні ризик-орієнтованого підходу з оцінки небезпеки нс на об'єктах критичної інфраструктури // Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту: матеріали міжнародної науково-практичної конференції молодих учених. Харків: НУЦЗУ, 2022. С. 214.

(Здобувачці особисто належить розробка математичної моделі попередження надзвичайних ситуацій шляхом ідентифікації небезпеки в ґрунтових водах на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження)

A16. **Vovchuk T.**, Shevchenko O., Shevchenko R. Formation of information basis on the organization of emergency monitoring at chemical facilities // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми

пожежної безпеки 2022» («Fire Safety Issues 2022»). – Х.: НУЦЗ України, 2022. – 261-263.

(Здобувачці особисто належить розробка математичної моделі попередження надзвичайних ситуацій шляхом ідентифікації небезпеки в ґрунтових водах на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження)

A17. **Вовчук Т.С.,** М'ясоєдова А.В., Шевченко Р.І. Застосування інформаційних технологій у питаннях попередження надзвичайних ситуацій на об'єктах хімічної промисловості // International scientific conference «Information technologies and management in higher education and sciences» : conference proceedings (Fergana, the Republic of Uzbekistan). Part 1. Riga, Latvia : —Baltija Publishing, 2022. P.189-192.

(Здобувачці особисто належить розробка інформаційної моделі та алгоритмів побудови інформаційно-аналітичного забезпечення процесу попередження надзвичайних ситуацій на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження)

A18. **Вовчук Т.С.,** Нешпор О.В., Шевченко Р.І. Інформаційні технології у питаннях попередження надзвичайних ситуацій внаслідок пожежі на об'єктах критичної інфраструктури // Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту: матеріали міжнародної науково-практичної конференції молодих учених. Харків: НУЦЗУ, 2023. 229 с.

(Здобувачці особисто належить розробка математичних моделей попередження надзвичайних ситуацій шляхом ідентифікації небезпеки в ґрунтах на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження)

A19. **Вовчук Т.,** Шевченко О., Шевченко Р. Інноваційні технології з попередження надзвичайних ситуацій на об'єктах хімічної промисловості // Перспективні напрямки наукових досліджень щодо технічного та тилового забезпечення національної гвардії України/ Матеріали науково-практичної конференції. Харків. НАНГУ. 2023. С. 6-7.

(Здобувачці особисто належить розробка математичної моделі попередження надзвичайних ситуацій шляхом ідентифікації небезпеки в ґрунтових водах на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження)

A20. **Vovchuk T., Shevchenko R.** Application of innovative technologies in issues of preventing emergency situations at critical infrastructure facilities // Наука про цивільний захист як шлях становлення молодих вчених / Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції курсантів, студентів, ад'юнктів (аспірантів). – Черкаси: Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2023. С. 291-292.

(Здобувачці особисто належить розробка математичної моделі попередження надзвичайних ситуацій шляхом ідентифікації небезпеки в ґрунтових водах на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження)

A21. **Vovchuk T., Shevchenko O., Shevchenko R.** Information technologies for the prevention of emergency situations at chemical industry facilities // Challenges and threats to critical infrastructure. Collective monograph - NGO Institute for Cyberspace Research (Detroit, Michigan, USA), 2023. - p. 160.

(Здобувачці особисто належить розробка математичних моделей попередження надзвичайних ситуацій шляхом ідентифікації небезпеки в ґрунтах на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження)

A22. **Вовчук Т.С., Шевченко О.С., Шевченко Р.І.** Інформаційна підтримки дій з попередження надзвичайних ситуацій на об'єктах критичної інфраструктури // Об'єднання теорії та практики – запорука підвищення готовності оперативно-рятувальних підрозділів до виконання дій за призначенням. Матеріали круглого столу. – Харків: Національний університет цивільного захисту України, 2023. С. 56-58.

(Здобувачці особисто належить розробка інформаційної моделі та алгоритмів побудови інформаційно-аналітичного забезпечення процесу

попередження надзвичайних ситуацій на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження)

A23. Вовчук Т., Шевченко О., Шевченко Р. Використання технологій quick response для попередження надзвичайних ситуацій на об'єктах критичної інфраструктури в умовах впливів воєнного часу // VI Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених, студентів і курсантів інформаційна безпека та інформаційні технології. Львів. ЛДУБЖД. 2023. С. 248-250.

(Здобувачці особисто належить розробка інформаційної моделі та алгоритмів побудови інформаційно-аналітичного забезпечення процесу попередження надзвичайних ситуацій на об'єктах хімічної промисловості в умовах впливів воєнного часу)

ДОДАТОК Б



Маріян ГОДА

2024 р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

результатів отриманих в ході виконання дисертаційних досліджень Вовчук Таїсії Сергіївни на здобуття наукового ступеня доктор філософії за спеціальністю 263 «Цивільна безпека» за темою «Попередження надзвичайних ситуацій на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження»

Комісія у складі: Голови – головний-технолог пивовар Брож Пршемсл.; членів комісії: заступник директора (головний інженер) Ісаєв А.Ю.; заступник директора з охорони праці Рикун В.В. склала цей акт про те, що нові практичні результати, одержані особисто Вовчук Т.С., у межах дисертаційних досліджень у вигляді: інструментальних засобів з розв'язання завдань попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження шляхом ідентифікації небезпеки у ґрунтах і ґрунтових водах, які реалізовані у вигляді інформаційно-авалітичного комплексу QR-управління надзвичайною ситуацією на об'єктах промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження шляхом ідентифікації небезпеки у ґрунтах та ґрунтових водах, впроваджено в практичну діяльність Товариства з обмеженою відповідальністю «Рівень ЛТД».

Використання зазначених практичних результатів дисертаційної роботи дозволяє: вдосконалити окремі аспекти безпеки об'єктів; скоротити час прийняття відповідних управлінських рішень до меж часу виникнення надзвичайної ситуації техногенного характеру на регіональному рівні; значно підвищити надійність систем попередження надзвичайної ситуації, що в свою чергу позитивно впливає на ефективність функціонування Єдиної системи

цивільного захисту України в режимах надзвичайної ситуації, підвищеної готовності та повсякденного функціонування.

Голова комісії:

Головний технолоґ-пивовар



Брож Пржемсл

Члени комісії:

заступник директора (головний інженер),



А.Ю. Ісаєв

заступник директора з
охорони праці



В.В. Рикун



впровадження результатів отриманих в ході виконання дисертаційних досліджень Вовчук Таїсії Сергіївни на здобуття наукового ступеня доктор філософії за спеціальністю 263 «Цивільна безпека» за темою «Попередження надзвичайних ситуацій на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження»

Комісія у складі: голови – заступника начальника 3 державного пожежно-рятувального загону Головного управління ДСНС України у Рівненській області, підполковник служби цивільного захисту Жданюк А.А., членів комісії - заступника начальника загону з оперативного реагування 3 державного пожежно-рятувального загону Головного управління ДСНС України у Рівненській області, полковника служби цивільного захисту Заверуха В.М., начальника 2 державної пожежно-рятувальної частини 3 державного пожежно-рятувального загону Головного управління ДСНС України у Рівненській області, майора служби цивільного захисту Вербицький М.В., склала цей акт про впровадження нових практичних результатів отриманих в ході виконання дисертаційних досліджень Вовчук Т.С., та стверджує, що матеріали у вигляді керуючих алгоритмів та основних процедур попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження шляхом ідентифікації небезпеки в ґрунтах та ґрунтових вода, які реалізовані у вигляді інформаційної технології QR - управління, та низки практичних

Пропозицій з розробки ефективних оперативно-тактичних рішень з попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах хімічної промисловості в умовах надлишкового техногенного навантаження, впроваджено в практичну діяльність 3 Державного пожежно-рятувального загону Головного управління ДСНС України у Рівненській області, що дозволило підвищити ефективність запропонованих управлінських рішень та вчасно вжити заходів з попередження надзвичайних ситуацій на об'єктах в зоні відповідальності 3 Державного пожежно-рятувального загону Головного управління ДСНС України у Рівненській області.

Голова комісії:

Заступник начальника 3 ДПРЗ ГУ ДСНС
України у Рівненській області
підполковник служби цивільного захисту



А.А. Жданок

члени комісії:

заступник начальника загону
з оперативного реагування 3 ДПРЗ ГУ ДСНС
України у Рівненській області
полковник служби цивільного захисту



В.М. Заверуха

начальник 2 ДПРЧ 3 ДПРЗ ГУ ДСНС
України у Рівненській області
майор служби цивільного захисту



М.В. Вербицький