

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА УКРАЇНИ З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ

Мелешенко Руслан Геннадійович

УДК 621.03.9

ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНІ МЕТОДИ ПОПЕРЕДЖЕННЯ
НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРУ
НА ОБ'ЄКТАХ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ЗА ДОПОМОГОЮ
ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЮ СТАНУ ПОВІТРЯНОГО СЕРЕДОВИЩА

Спеціальність 21.02.03 – цивільний захист
21 – національна безпека

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Харків – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному університеті цивільного захисту України Державної служби України з надзвичайних ситуацій.

Науковий консультант: доктор технічних наук, старший дослідник
Рибка Євгеній Олексійович,
Національний університет цивільного захисту
України, м. Харків,
заступник начальника центру – начальник відділу
організації науково-дослідної та патентної діяльності
науково-дослідного центру

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, доцент
Коротенко Григорій Михайлович,
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка», м. Дніпро,
професор кафедри інформаційних технологій та
комп'ютерної інженерії

доктор технічних наук, старший науковий співробітник
Чумаченко Сергій Миколайович,
Національний університет харчових технологій, м. Київ,
завідувач кафедри інформаційних систем

доктор технічних наук, доцент
Карабин Василь Васильович,
Львівський державний університет безпеки
життєдіяльності (м. Львів),
начальник навчально-наукового інституту
психології та соціального захисту

Захист відбудеться « 05 » травня 2021 р. о 13-00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.707.04 Національного університету цивільного захисту України за адресою: 61023, м. Харків, вул. Чернишевська, 94.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного університету цивільного захисту України за адресою: 61023, м. Харків, вул. Чернишевська, 94 та на сайті спеціалізованої вченої ради Д 64.707.04 за електронною адресою: <http://nuczu.edu.ua/ukr/nauka/spetsializovani-vcheni-rady/50-katehoriia-uk-ua/spetsializovani-vcheni-rady/366-spetsializovana-vchena-rada-d64-707-04>.

Автореферат розісланий « 31 » березня 2021 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

В. Ю. Колосков

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Обґрунтування вибору теми дослідження. Будь-яка надзвичайна ситуація (НС) передбачає одночасну наявність об'єкта небезпеки (джерела небезпеки) та відповідного об'єкта її впливу. Щорічно кількість НС техногенного характеру більш ніж 3 рази перевищує число НС природного, соціального та воєнного характеру. При цьому спостерігається стійка тенденція щодо зростання загальної кількості НС, в першу чергу за рахунок розширення числа та типів об'єктів небезпек. У разі НС об'єкт небезпеки, діючи на об'єкт впливу, призводить до великої кількості постраждалих, загрози життю та здоров'ю людей, їх загибелі, значним матеріальним утратам, руйнування або знищення об'єктів промисловості, а також завдає серйозної шкоди навколишньому середовищу. Особливо гостро це питання стоїть по відношенню до критичної інфраструктури, яка представляє сукупність стратегічно важливих об'єктів для економіки і національної безпеки, порушення функціонування яких може завдати значної шкоди життєво важливим національним інтересам.

Слід зауважити, що в багатьох випадках передумови для появи об'єктів небезпек в техногенній сфері, що приводять до НС, створює сама людина. Тому, в процесі виробничої діяльності людини необхідно мінімізувати можливість появи вказаних об'єктів небезпеки. Одним із дієвих напрямків недопущення виникнення НС техногенного характеру є попередження НС, заснованого на зниженні можливості або недопущенню появи об'єктів небезпеки. Світова практика свідчить про те, що реалізація методів та засобів попередження НС дозволяє уникнути їх виникнення або скоротити в 2–3 рази витрати на ліквідацію наслідків. При цьому попередження НС дозволяє значно зменшити або повністю уникнути небезпечного впливу на населення території.

Ефективною парадигмою протидії існуючій тенденції зростання кількості НС техногенного характеру є застосування систем раннього виявлення об'єктів небезпеки. При цьому, усі об'єкти можливої небезпеки діють на об'єкти впливу через повітряне середовище. Тому, стан повітряного середовища першим реагує на появу об'єктів небезпек. Це означає, що важливою інформацією щодо попередження НС техногенного характеру є стан повітряного середовища в приміщеннях, на території об'єктів критичної інфраструктури (ОКІ) та за межами таких об'єктів. Завдяки цьому оперативний контроль стану повітряного середовища дозволяє виявляти дієві передвісники НС, пов'язані із об'єктами небезпеки щодо загорянь, вибухів та токсичною небезпекою внаслідок забруднення атмосферного повітря понад граничнодопустимих концентрацій (ГДК). Складність використання стану повітряного середовища у якості передвісника появи об'єктів небезпеки обумовлюється тим, що повітряне середовище в умовах появи об'єктів небезпеки являє собою складну нелінійну динамічну систему, яка характеризується властивостями дисипації та самоорганізації. У такій системі класичні методи не дозволяють виявляти динаміку станів, оскільки ґрунтуються на лінійних принципах, які зазвичай порушуються. Це призводить до помилкових уявлень про реальну динаміку стану повітряного середовища при появі об'єктів небезпеки. Однак характер динаміки стану повітряного середовища при появі об'єкту небезпеки має

першорядне значення для попередження НС, які пов'язані з ураженням і загибеллю людей, руйнуванням технологічного обладнання та агрегатів, викидів небезпечних речовин в атмосферне повітря.

При цьому, динаміка станів повітряного середовища не є довільною і підпорядковується фундаментальному принципу дисипативних динамічних систем, який полягає в тому, що окремі стани відповідають рекурентним властивостям. Відомим дієвим інструментом для виявлення рекурентних станів складних динамічних систем є методи рекурентних діаграм (RP). Дані методи відносяться до класу візуальних та не дозволяють використовувати їх щодо попередження НС. Крім того, вони є основою більшості сучасних методів щодо кількісної оцінки рекурентних станів (RQA). Однак, можливості відомих методів RP та RQA відповідно до оперативного контролю стану повітряного середовища є досить обмеженими. Застосування цих методів щодо попередження НС техногенного характеру на теперішній час не використовується.

У зв'язку з цим, створення нових методів попередження НС техногенного характеру на ОКІ за допомогою оперативного контролю стану повітряного середовища в приміщеннях та на території (поблизу) об'єктів є актуальною та важливою науковою проблемою у сфері цивільного захисту.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалася в рамках Стратегії національної безпеки України, затвердженої Указом Президента України від 26.05.2015 року № 287/2015, Державної програми «Енергетична стратегія України на період до 2030 року», затвердженої постановою Кабінету Міністрів України № 145-р від 15.03.2006 року, відповідно до Розпорядження КМУ 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» та «Стратегії реформування системи Державної служби з надзвичайних ситуацій», схваленої Розпорядженням КМУ від 25 січня 2017 р. № 61-р. Наукові дослідження за темою дисертації виконувалися у відповідності до Тематичних планів на 2015–2020 рр. прикладних науково-дослідних робіт Національного університету цивільного захисту України, зокрема «Запобігання надзвичайним ситуаціям техногенного характеру на об'єктах критичної інфраструктури шляхом раннього виявлення загроз» (№ ДР 0119U001008). Здобувач був відповідальним виконавцем даної науково-дослідної роботи.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є розробка нових інженерно-технічних методів попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах критичної інфраструктури за допомогою оперативного контролю стану повітряного середовища в приміщеннях та на території (поблизу) об'єктів в інтересах їх недопущення.

Для досягнення поставленої мети потребували вирішення наступні наукові завдання:

1. Проаналізувати світові тенденції реагування та попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на небезпечних об'єктах.
2. Розглянути стан та особливості процесу попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах критичної інфраструктури.

3. Розробити інженерно-технічний метод попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру внаслідок пожеж (вибухів) за допомогою оперативного контролю стану повітряного середовища приміщень об'єктів критичної інфраструктури.

4. Розробити інженерно-технічний метод попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру обумовлених наявністю в атмосферному повітрі шкідливих речовин на території (поблизу) об'єктів критичної інфраструктури та комунікативні моделі бездротового середовища щодо реалізації метода на основі використання безпілотних рухомих платформ.

5. Перевірити достовірність розроблених математичних моделей та інженерно-технічних методів.

6. Запропонувати пропозиції щодо впровадження розроблених математичних моделей та інженерно-технічних методів.

Об'єкт дослідження: процес попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах критичної інфраструктури за допомогою оперативного контролю стану повітряного середовища.

Предмет дослідження: параметри стану повітряного середовища щодо раннього виявлення об'єктів небезпеки та попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах критичної інфраструктури.

Методи дослідження: математичне та імітаційне моделювання, методи системного аналізу, теорії ймовірностей, математичної статистики, теорії нелінійної динаміки, фрактального та рекурентного аналізу, а також мір рекурентних станів.

Наукова новизна отриманих результатів. В роботі вирішена важлива наукова проблема у сфері цивільного захисту – створення нових методів попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах критичної інфраструктури за допомогою оперативного контролю стану повітряного середовища у приміщеннях та на території (поблизу) об'єктів.

В результаті *вперше* отримані наступні наукові результати:

1. Розроблено математичну модель попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру внаслідок пожеж (вибухів) за допомогою оперативного контролю стану повітряного середовища приміщень об'єктів критичної інфраструктури, яка базується на поточних показниках фрактальності прирощень стану повітряного середовища при загоряннях у приміщеннях та складається з двох аналітичних залежностей: залежності поточної міри кореляційної розмірності від прирощень станів повітряного середовища, функціоналу норми, ширини вікна усереднення та розміру околиці, що визначає рекурентні стани; залежності поточної міри щодо рекурентних станів від прирощень станів повітряного середовища приміщень, функціоналу норми та розміру околиці, які визначають рекурентні стани.

2. Розроблено математичну модель попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру обумовлених наявністю в атмосферному повітрі шкідливих речовин на території (поблизу) об'єктів критичної інфраструктури з урахуванням ризику здоров'ю людини, яка складається з восьми аналітичних залежностей: залежності обчислення рекурентних діаграм від поточних вимірюваних станів забрудненої атмосфери, функціоналу норми і порогу

рекурентних станів; залежності обчислення рекурентних діаграм, що самоналаштовуються за поточними вимірами станів забрудненої атмосфери при заданій величині кута рекурентних станів між вимірюваними векторами; залежності рекурентних станів забрудненої атмосфери від поточного усереднення для першої та другої залежності; залежності рекурентних станів забрудненої атмосфери від значення функції невизначеності для відповідних векторів вимірюваних станів щодо заданого інтервалу спостереження та поточного усереднення у вікні без обчислення рекурентних діаграм; залежності ризику негайних токсичних ефектів та хронічної інтоксикації від концентрацій для довільних небезпечних речовин, що забруднюють атмосферне повітря.

3. Розроблено інженерно-технічний метод попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру внаслідок пожеж (вибухів) за допомогою оперативного контролю стану повітряного середовища приміщень об'єктів критичної інфраструктури, який дозволяє на ранньому етапі виявляти загоряння та не допускати їх подальше переростання в надзвичайні ситуації.

4. Розроблено інженерно-технічний метод попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру унаслідок наявності в атмосферному повітрі шкідливих речовин, який дозволяє попередити появу ризику здоров'ю населення понад величину прийнятого допустимого індивідуального ризику та не допустити виникнення надзвичайних ситуацій, пов'язаних з наявністю в атмосферному повітрі шкідливих речовин, небезпечних для людини.

5. Розроблено комплексну систему оперативного контролю та управління станом повітряного середовища в приміщеннях та на території (поблизу) об'єктів критичної інфраструктури (у складі діючого зразка безпілотної рухомої платформи з елементами живлення, системи навігації, бездротового керування та телеметрії, набору сенсорів, системи реєстрації, передачі та приймання інформації), яка реалізує розроблені математичні моделі та інженерно-технічні методи.

Практичне значення отриманих результатів полягає в розробці нового підходу до попередження НС техногенного характеру внаслідок пожеж в приміщеннях ОКІ та наявності в атмосферному повітрі шкідливих речовин на території та поблизу таких об'єктів, де визначальним є використання результатів реальних вимірювань тільки концентрації небезпечних факторів пожежі у повітряному середовищі приміщень та шкідливих речовин в атмосферному повітрі. На відміну від відомих підходів, підхід що пропонується, є універсальним і може бути використаний на практиці щодо різних типів об'єктів та конфігурації оточуючої об'єкти інфраструктури і метеорологічних умов. Розроблено практичні алгоритми щодо реалізації запропонованих інженерно-технічних методів попередження НС техногенного характеру на основі використання широкого кола сучасних програмованих мікропроцесорів. За умови використання запропонованих алгоритмів на базі мікропроцесорів класу Arduino розроблено комплексну систему оперативного контролю та управління станом повітряного середовища в приміщеннях та на території (поблизу) ОКІ. Використання зазначеної системи дозволяє на практиці здійснювати попередження виникнення НС внаслідок пожеж в приміщеннях ОКІ та наявності в атмосферному повітрі шкідливих речовин

понад ГДК на території та поблизу таких об'єктів з метою недопущення або зменшення числа постраждалих та загиблих людей, зниження матеріальних втрат, а також забезпечення безпечного та безперебійного функціонування стратегічних об'єктів держави.

Результати дисертаційного дослідження використані в практичній діяльності Єдиної державної системи цивільного захисту України в ході пілотного впровадження на об'єкті критичної інфраструктури Шебелинському відділенні з переробки газоконденсату та нафти АТ «Укргазвидобування» (Акт впровадження від 12.10.2020 року), ТОВ «Хладпром» (Акт впровадження від 16.10.2020 року), які знаходяться в зоні відповідальності ГУ ДСНС України в Харківській області та в навчальний процес Львівського державного університету безпеки життєдіяльності (Акт впровадження від 20.10.2020 року).

Особистий внесок здобувача. Основні положення та результати дисертаційної роботи отримані автором особисто. Особисто здобувачем виконано збір даних літературних та інформаційних джерел, систематизацію матеріалу щодо сучасного стану реагування та методів попередження НС техногенного характеру на небезпечних об'єктах. Особливу увагу приділено аналізу національній та міжнародній класифікації НС на небезпечних об'єктах хімічної, нафтохімічної та газотранспортної сфер. Розглянуто детальніше стан питання щодо попередження НС техногенного характеру на ОКІ. Проаналізовано уразливість і стійкість ОКІ в НС, а саме вибухова небезпека, небезпека загорянь та токсична небезпека. Розглянуті засоби і системи, що забезпечують попередження НС техногенного характеру на ОКІ України.

Особисто здобувачем розроблені математична модель попередження НС техногенного характеру внаслідок пожеж (вибухів) за допомогою оперативного контролю стану повітряного середовища приміщень ОКІ, яка дозволяє на основі вимірювання поточних показників фрактальності флуктуацій стану повітряного середовища на ранньому етапі виявляти загоряння у приміщеннях в залежності від параметрів, що визначають їх якість; математична модель попередження НС техногенного характеру внаслідок наявності в атмосферному повітрі шкідливих речовин на території (поблизу) ОКІ з урахуванням ризику здоров'ю людини, яка дозволяє у реальному часі за поточними вимірюваннями станів забрудненої атмосфери виявляти небезпечний вплив на людину в залежності від параметрів якості визначення рекурентних станів атмосферного повітря, ризику негайних токсичних ефектів та хронічної інтоксикації від концентрацій довільних небезпечних речовин, що забруднюють атмосферне повітря.

Особисто здобувачем розроблено інженерно-технічний метод попередження НС техногенного характеру внаслідок пожеж (вибухів) на основі здійснення оперативного контролю стану повітряного середовища приміщень ОКІ, який дозволяє виявляти загоряння на ранньому етапі і не допустити їх подальше переростання в некеровані пожежі та НС та інженерно-технічний метод попередження НС техногенного характеру унаслідок наявності в атмосферному повітрі шкідливих речовин, який дозволяє за рахунок появи небезпечного ризику здоров'ю населення понад величини прийнятого допустимого індивідуального ризику попередити про небезпечний стан об'єктів без втручання на їх територію, та не допустити виникнення НС, пов'язаних з наявністю в атмосферному повітрі

шкідливих речовин, понад ГДК. Особисто здобувачем розроблено мобільний комплекс, який реалізує розроблені математичні моделі та інженерно-технічні методи, який дозволяє оперативно в керованому або автономному режимі функціонування контролювати стан повітряного середовища як у приміщеннях об'єктів, так і зовні на території ОКІ (у складі самохідного шасі з автономними елементами живлення, системи навігації, керування та телеметрії, набору датчиків, системи реєстрації, збору, передачі та приймання інформації) та виявляти передвісники появи можливих небезпечних станів, що можуть перерости у відповідні НС. Особисто здобувачем запропоновані пропозиції щодо впровадження розроблених математичних моделей та інженерно-технічних методів, які можуть застосовуватись на ОКІ всіх форм підпорядкування та власності при штатному і аварійному режимах їх функціонування.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати роботи доповідались та обговорювались на наукових конференціях: Всеукраїнській науково-практичній конференції «Наукове забезпечення діяльності оперативно-рятувальних підрозділів (теорія та практика)» (Харків, 2015), VI Міжнародній науково-практичній конференції «Безпека життєдіяльності людини як умова сталого розвитку сучасного суспільства» (Київ, 2017), Науково-практичному семінарі «Запобігання надзвичайним ситуаціям і їх ліквідація» (Харків, 2018), 2nd Annual Conference «Technology transfer: fundamental principles and innovative technical solutions» (Tallinn, Estonia, 2018), VII Международной научно-практической конференции адъюнктов, магистрантов, курсантов и студентов «Исторические аспекты, актуальные проблемы и перспективы развития гражданской обороны» (Республики Казахстан, 2019), Міжнародній науково-практичній конференції молодих учених «Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту» (Харків, 2019), X Міжнародній науково-практичній конференції «Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій» (Черкаси, 2019), Міжнародній науково-технічній конференції «Фізико-технічні проблеми енергетики та шляхи їх вирішення» (Харків, 2019), 21 Всеукраїнській науково-практичній конференції «Розвиток цивільного захисту в сучасних безпекових умовах» (Київ, 2019), Міжнародній науково-практичній конференції молодих учених «Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту» (Харків, 2020), Міжнародній науково-практичній конференції «Problems of Emergency Situations» (Харків, 2020), X Всеукраїнській науково-практичній конференції з міжнародною участю «Надзвичайні ситуації: безпека та захист» (Черкаси, 2020).

Публікації. За результатами дисертаційного дослідження опубліковано в Україні та закордоном 44 наукові роботи, з яких: 1 монографія; 15 наукових статей у виданнях, які входять до науково-метричної бази Scopus; 13 статей у фахових наукових виданнях України, які включені до міжнародних науково-метричних баз Index Copernicus та Ulrich's Periodicals; 1 стаття у закордонному виданні; 2 патенти; 12 тез доповідей у збірниках матеріалів конференцій.

Структура дисертаційної роботи. Дисертація складається з анотації, змісту, переліку умовних скорочень, вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел та двох додатків. Загальний об'єм дисертації 378 сторінок, містить 4 таблиці, 76 ілюстрацій, список використаних джерел з 480 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі подано загальну характеристику дисертаційної роботи. Обґрунтована актуальність теми дисертації, сформульовано мету роботи та основні завдання дослідження, показано зв'язок роботи з науковими програмами. Наведено дані про особистий внесок здобувача, апробацію роботи та публікації.

У першому розділі *«Сучасний стан реагування та попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на небезпечних об'єктах»* вирішено перше наукове завдання дослідження. Встановлено, що небезпека НС техногенного характеру має всесвітній характер та негативну динаміку щодо зростання, причинами переважної більшості надзвичайних ситуацій є пожежі, при цьому як нормальна так і аварійна робота небезпечних об'єктів характеризується значними викидами в атмосферне повітря небезпечних речовин. Попередження надзвичайних ситуацій забезпечується завчасним або оперативним проведенням комплексу заходів, спрямованих на максимально можливе зниження імовірності виникнення чи мінімізацію наслідків НС, а також на збереження здоров'я людей, зниження розмірів шкоди, завданої довкіллю і матеріальних втрат у разі їх виникнення. При цьому ефективним принципом попередження НС техногенного характеру є застосування активних систем безпеки, заснованих на використанні чутливих елементів (сенсорів), які відстежують стан небезпечного об'єкта і виявляють передумови виникнення аварійних ситуацій.

У другому розділі *«Стан та особливості процесу попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах критичної інфраструктури»* вирішено друге наукове завдання дослідження. Показано, що до ОКІ відноситься сукупність стратегічно важливих об'єктів для економіки і національної безпеки, порушення функціонування яких може завдати шкоди життєво важливим національним інтересам. При цьому, для забезпечення стійкості ОКІ до НС потребують розробки нові інженерно-технічні методи попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру, які базуються на оперативному контролі стану повітряного середовища об'єкта. Проведено системний аналіз виникнення НС техногенного характеру. Встановлено, що повітряне середовище виконує функції передачі впливу від об'єкта небезпеки до відповідного ОКІ. Тому поточний стан повітряного середовища є непрямим джерелом інформації про стан небезпечного об'єкта. Це означає, що стан повітряного середовища може бути використаний для попередження небезпечних подій на ОКІ та спричинених ними НС техногенного характеру. Відмічається, що повітря являє собою окрему дуже складну нелінійну динамічну систему, яка може додатково змінювати функції передачі впливів від небезпечних об'єктів. В першу чергу, це стосується випадку атмосферного повітря та викидів до нього шкідливих речовин, які в свою чергу спричиняють негативний вплив на людину. Однак, відомі методи та засоби попередження надзвичайних ситуацій розглядають повітря як лінійну систему. Визначено, що сучасним конструктивним підходом до вивчення повітря, як складної нелінійної динамічної системи, є застосування методів нелінійної динаміки, а саме методів RP та RQA, які для попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру раніше не використовувались.

У третьому розділі «Розробка інженерно-технічного методу попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру внаслідок пожеж (вибухів) за допомогою оперативного контролю стану повітряного середовища приміщень об'єктів критичної інфраструктури» наведено вирішення третього наукового завдання, яке включає: розробку математичної моделі поточних показників фрактальності щодо станів повітряного середовища при загоряннях у приміщеннях об'єктів критичної інфраструктури; розробку управляючого алгоритму інженерно-технічного методу попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру внаслідок пожеж (вибухів) за допомогою оперативного контролю стану повітряного середовища приміщень об'єктів критичної інфраструктури та опис процедури його реалізації.

Розробка математичної моделі поточних показників фрактальності щодо станів повітряного середовища при загоряннях у приміщеннях ОКІ здійснювалась на основі попереднього виконаного експериментального дослідження динаміки небезпечних факторів повітряного середовища при ранніх загоряннях у негерметичній камері, що моделювала негерметичні приміщення ОКІ. На основі аналізу експериментальної динаміки небезпечних факторів повітряного середовища при загоряннях встановлено, що розподіл станів відрізняється від Гауса, а динаміка станів носить фрактальний характер. Тому на початку була запропонована модель міри автокореляцій і взаємних кореляцій небезпечних факторів повітряного середовища, яка заснована на обчисленні інтервальних коефіцієнтів кореляції Пірсона для заданого числа n дискретних відліків, зсунутих у часі на заданому інтервалі спостереження щодо флуктуацій небезпечних факторів. Модель міри коефіцієнта кореляції $r_{xy}(n)$ для заданого інтервалу і довільних компонентів двох векторів X та Y небезпечних факторів стану повітряного середовища при зрушенні на n відліків (лагів) визначалася у вигляді

$$r_{xy}(n) = \frac{\sum (x_j - \bar{x})(y_{j+n} - \bar{y}_n)}{\sqrt{\sum (x_j - \bar{x})^2 \cdot \sum (y_{j+n} - \bar{y}_n)^2}}, \quad (1)$$

де \bar{x} – середнє значення компонента X повітряного середовища на інтервалі спостереження; \bar{y}_n – середнє значення компонента Y повітряного середовища на інтервалі спостереження, зсунутого на n відліків у часі.

Автокореляції небезпечних факторів відповідно (1) визначались за умови, що $Y=X$. Відмічається що міра (1) володіє найкращою інтерпретацією та у випадку розподілів щодо компонентів оцінює лінійний взаємозв'язок між ними. Але у випадку розподілів, які відрізняються від Гауса, міра (1) буде характеризувати лише ступінь лінійного взаємозв'язку між компонентами. До неї вже не можна застосовувати відомі методи перевірки на значимість. У зв'язку з відсутністю чіткої теорії про значення розглянутої міри для кореляцій, запропоновано дотримуватися наступних рівнів: дуже слабка міра кореляції – 0–0,2; слабка міра кореляції – 0,2–0,5; середня міра кореляції – 0,5–0,7; висока міра кореляції – 0,7–0,9; дуже висока міра кореляції – 0,9–1. В загальному випадку запропонована модель (1) дозволяє визначити чисельне значення

автокореляцій і взаємних кореляцій щодо небезпечних факторів повітряного середовища у приміщеннях ОКІ, які спостерігаються на різних інтервалах, включаючи інтервал відсутності загорянь, їх появи та подальшого горіння матеріалів у приміщеннях. Встановлено, що міра (1) небезпечних факторів повітряного середовища щодо виявлення ранніх загорянь у приміщеннях ОКІ володіє рядом обмежень і є досить грубою для використання з метою попередження НС внаслідок пожеж та вибухів у приміщеннях ОКІ. Більш ефективними щодо попередження НС внаслідок пожеж шляхом виявлення ранніх загорянь у приміщеннях є використання властивостей фрактальності станів небезпечних факторів повітряного середовища в приміщеннях. При цьому найбільший прояв фрактальності має місце для динаміки природних небезпечних факторів повітряного середовища. Тому для раннього виявлення загорянь у приміщеннях ОКІ запропоновано використовувати поточні показники фрактальності щодо природних станів повітряного середовища, а саме їх міру кореляційної розмірності (КР) та міру рекурентності природних станів (РС). Міру поточної КР $D_2(r, N_w, t)$ запропоновано обчислювати відповідно до виразу наступного виду:

$$D_2(r, N_w, t) = \ln C'_3(r, N_w, t) / \ln r, \text{ при } r \rightarrow 0, \quad (2)$$

де r – задана величина допустимої відстані між парою довільних точок траєкторії, яка визначається для довільної точки і траєкторії станів повітряного середовища вектором природження $x_i = zI_i - zI_{i+1}$ між поточним i та наступним $i+1$ станами вектора стану $zI(t)$ повітряного середовища в поточний t момент часу, який у дискретні моменти часу i ($t=i$) визначає відповідну дискретну траєкторію $\{zI_i\}$ з N точок у відповідному просторі, що розглядається. В експерименті складові вектору стану $zI(t)$ визначалися оптичною щільністю диму, середнім об'ємним значенням температури та концентрацією чадного газу в повітряному середовищі. Базовою основою міри КР (2) є кореляційна функція $C'_3(r, N_w, t)$, яка обчислюється в рухомому прямокутному вікні фіксованого розміру $N_w \ll N$, що переміщується вздовж дискретної траєкторії вимірюваних векторів x_i у реальному часі, та за методикою Грассбергера-Прокаччіа визначається відповідним виразом:

$$C'_3(r, N_w, t) = \frac{1}{N_w^2} \sum_{i=1}^{N_w} \sum_{j=1, i \neq j}^{N_w} H(r - \|x_{i+t} - x_{j+t}\|). \quad (3)$$

У виразі (3) функція $H(*)$ визначає індикаторну функцію Хевісайда, а метрика $\|x_i - x_j\|$ визначається нормою L_∞ . Переваги даної норми полягають в незалежності від мірності розглянутого фазового простору, а також у найбільшій простоті її обчислення. Слід зауважити, що в загальному випадку величина $H(r - \|x_i - x_j\|)$ для $i, j = 1, 2, \dots, N$ у виразі (3) визначає відоме відображення динаміки стану складної системи у вигляді рекурентної діаграми (RP) але щодо вектору природження станів. Будемо вважати, що $H(r - \|x_i - x_j\|) = R^{m, r}_{i, j}$ для всіх векторів траєкторії $x_i \in \Omega^m$ у просторі Ω^m вільної розмірності m . Відомо, що RP

широко використовуються для чисельного визначення відповідних РС у різних складних нелінійних динамічних системах. Однак відмічається, що відомі міри РС на основі RP не є оперативними та виявляються недостатньо чутливими до змін динаміки вектору прирощень станів повітряного середовища при загоряннях у приміщеннях ОКІ. Це обмежує можливості їх застосування для раннього виявлення загорянь у приміщеннях та попередження НС внаслідок появи загорянь та пожежі в приміщеннях ОКІ.

Тому, у роботі запропоновано нову модифіковану міру РС, яка обумовлена функціоналом від величини r для поточного дискретного відліку i часу спостереження вектору прирощень, тобто

$$M_1(r, i) = \frac{1}{i+1} \sum_{k=0}^i R^{m,r}_{i,k}, \quad i = 1, 2, \dots, N. \quad (4)$$

Модифікована міра (4), на відміну від відомих мір РС, є поточною мірою РС вектору прирощень x_i у довільний дискретний момент часу i для заданого розміру r околиці РС прирощень. Міра (4) дозволяє відображати динаміку РС щодо різницевого вектору станів повітряного середовища при ранніх загоряннях у приміщеннях ОКІ. Однак міра (4) при збільшенні кількості заданих або вимірюваних відліків i знижує чутливість до змін у векторі прирощення станів через прояву її кумулятивних властивостей. Крім цього величина міри (4) для початкових заданих або вимірюваних відліків має низьку точність. Тому, міра (4), маючи зазначені обмеження, не може використовуватися для надійного виявлення загорянь у приміщеннях та попередження НС внаслідок пожежі. З метою усунення зазначених обмежень (4) пропонується спочатку модифікувати власне процес обчислення RP відповідно до виразу

$$TRP_{i,j}^{m,r} = if(i \neq j | j \leq i, R_{i,j}^{m,r}, 0). \quad (5)$$

Вираз (5) визначає запропонований спосіб обчислення RP щодо заданих змодельованих або вимірюваних прирощень вектору станів повітряного середовища в реальному (дискретному) часі спостереження. На підставі (5) пропонується поточна міра РС щодо вектору прирощень станів повітряного середовища при загорянні в приміщеннях ОКІ, яка визначається співвідношенням наступного виду:

$$M_2(i, r) = \frac{1}{i+1} \sum_{k=0}^i TRP_{i,k}^{m,r}. \quad (6)$$

На практиці запропонована міра (6) чисельно характеризує РС щодо вектору прирощення станів повітряного середовища в приміщеннях ОКІ для кожного поточного моменту часу i з урахуванням розміру r околиці щодо векторів x_i . Величина міри залежить від розміру околиці r , яка повинна обиратися апріорі з умови забезпечення ідентичності обчислення (6) реальним РС вектора прирощення станів повітряного середовища в приміщеннях ОКІ. Це

означає, що за допомогою міри (6), можна виявляти особливості динаміки РС вектора прирощень x_i щодо повітряного середовища ОКІ у різні дискретні моменти часу. Крім того міра (6) одночасно є оцінкою ймовірності РС щодо вектора прирощень x_i станів повітряного середовища у приміщеннях ОКІ для поточного моменту часу. Міра (6) дозволяє в реальному часі спостереження оцінювати особливості динаміки вектора прирощень x_i станів повітряного середовища, які характерні, наприклад, для її стійких станів повітряного середовища або станів втрати такої стійкості.

Після чого здійснено опис математичної моделі, яка визначається аналітичними залежностями (2) та (6) щодо поточних показників фрактальності вимірюваних станів повітряного середовища в небезпечних приміщеннях ОКІ. Перша описує залежність поточної міри КР (2) від послідовних заданих або реальних вимірювань вектору прирощень станів повітряного середовища, функціонала норми, ширини вікна усереднення, а також розміру околиці щодо РС. Друга описує залежність поточної міри РС (6) від послідовних заданих або реальних вимірювань вектора прирощень станів повітряного середовища, функціонала норми та розміру околиці щодо РС. Аналітичні залежності (2) та (6) дозволяють за заданими змодельованими даними або вимірюваними даними щодо вектору прирощень станів реального повітряного середовища в приміщеннях визначати чисельні показники фрактальності динаміки прирощення станів повітряного середовища при загоряннях у приміщеннях ОКІ.

Таким чином, в роботі запропонована математична модель поточних показників фрактальності станів повітряного середовища при загоряннях у приміщеннях ОКІ, які визначаються поточними мірами КР та РС щодо вектору не самого стану, а прирощень станів. При цьому чисельні значення зазначених мір, які обчислюються на основі реальних вимірювань та порівнюються з відповідними порогами, дозволяють у реальному часі (оперативно) виявляти початок розвитку небезпечного стану повітряного середовища, пов'язаного із загоряннями, та попереджати виникнення НС внаслідок пожеж у приміщеннях ОКІ. Розроблена модель на основі реальних вимірювань дозволяє оперативно виявляти не тільки явні, але й приховані небезпечні стани повітряного середовища, що є передвісниками появи НС.

Наступним кроком була розробка управляючого алгоритму інженерно-технічного методу попередження НС техногенного характеру, який реалізує математичну модель, що визначається (2) та (6) з урахуванням відповідних порогів з метою прийняття рішення щодо необхідних рівнів попередження НС. При цьому, управляючий алгоритм складається із семи послідовних блоків, що мають певну ієрархічну структуру взаємодії.

Від так, у ході вирішення третього наукового завдання дослідження, розроблено інженерно-технічний метод, який призначено для попередження НС техногенного характеру внаслідок пожеж у приміщеннях ОКІ на основі контролю поточних показників фрактальності у вигляді КР та РС щодо вимірюваного вектору прирощень станів повітряного середовища у приміщеннях. Застосування розробленого методу передбачає виконання наступної послідовності процедур: обґрунтування та визначення вхідних даних про об'єкти та небезпечні фактори повітряного середовища у приміщеннях ОКІ;

інженерно-технічне обґрунтування типів вимірювальних сенсорів небезпечних факторів повітряного середовища у приміщеннях, а також засобів та методик їх вимірів; технічне вимірювання небезпечних факторів повітряного середовища в приміщеннях ОКІ та обчислення поточного вектору прирощення станів повітряного середовища у реальному часі; інженерно-технічна реалізація запропонованої моделі щодо визначення поточних мір КР та РС щодо вектору прирощень; інженерно-технічне обґрунтування величини порогів (або наборів порогів) для поточних значень КР та РС щодо вектору прирощень станів повітряного середовища у виробничих та операційних приміщеннях ОКІ; виявлення моментів перевищення поточними значеннями КР і РС відповідних встановлених порогів з метою визначення потрібного рівня попередження НС техногенного характеру внаслідок пожеж; обґрунтування та вибір управлінських рішень за результатами перевищення поточними значеннями КР і РС заданих порогів з метою попередження та недопущення виникнення НС техногенного характеру внаслідок пожеж в приміщеннях ОКІ. Запропонований метод в цілому на відміну від відомих дозволяє забезпечувати раннє виявлення загорань та попередження НС техногенного характеру, як у приміщеннях ОКІ з різним технологічним устаткуванням та агрегатами, так і в приміщеннях, де розміщується обслуговуючий персонал, чергові зміни та офісні працівники.

У четвертому розділі *«Розробка інженерно-технічного методу попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру внаслідок наявності в атмосферному повітрі шкідливих речовин на території (поблизу) об'єктів критичної інфраструктури»* вирішено четверте наукове завдання дослідження, яка включає: розробку математичної моделі попередження НС техногенного характеру обумовлених наявністю в атмосферному повітрі шкідливих речовин на території (поблизу) ОКІ з урахуванням ризику здоров'ю людини; розробку управляючого алгоритму інженерно-технічного методу попередження НС техногенного характеру внаслідок наявності в атмосферному повітрі шкідливих речовин, понад ГДК та опис процедур для його реалізації; розробку комунікативних моделей бездротового середовища щодо реалізації дистанційного контролю динаміки станів повітряного середовища за допомогою безпілотних рухомих платформ.

Розробка математичної моделі попередження НС техногенного характеру, обумовлених наявністю в атмосферному повітрі шкідливих речовин на території або поблизу ОКІ з урахуванням ризику здоров'ю людини здійснена на основі чисельних мір динаміки РС забрудненого атмосферного повітря за допомогою РР і функції невизначеності (ФН) та оцінки негайного та хронічного ризику здоров'ю людини від забруднення атмосферного повітря.

Для цього пропонується нетрадиційний підхід щодо представлення забруднення атмосферного повітря у вигляді складної динамічної системи, стан якої не є спостережливим та залежить як від викидів шкідливих речовин, так і поточних метеорологічних та інших параметрів атмосферного повітря, обумовлених, наприклад, погодним станом і особливостями забудови саме території ОКІ або прилеглої території, де мешкає населення. Відмічено, що процеси забруднення атмосферного повітря небезпечними викидами техногенного характеру та їх розсіювання в силу об'єктивної складності, в

принципі, не можуть бути адекватно описані та змодельовані на основі традиційних підходів та відомих моделей. Характерним до запропонованої системи забруднення атмосферного повітря є її дисипативна структура та нелінійна динаміка станів з елементами самоорганізації та хаосу. Головною ознакою такої системи є властивість щодо рекурентності (повторюваності) її станів у різні моменти часу. РС забрудненої атмосфери є небезпечними, оскільки в такі моменти атмосферне повітря практично не здатне розсіювати забруднення. Це призводить до збільшення рівня концентрації забруднень в атмосферному повітрі. Додаткові викиди забруднюючих речовин у ці моменти можуть призводити до суттєвого підвищення рівня концентрації забруднювачів та в ряді випадків викликати появу відповідних НС. В роботі показано, що попереджати виникнення НС техногенного характеру як на території ОКІ, так і на прилеглих територіях можливо на основі виявлення таких РС забрудненого атмосферного повітря. Тому, виявлення РС в реальному часі запропоновано здійснювати на основі РР та ФН щодо вимірюваного вектора стану. Розглянуті в роботі методи виявлення РС є загальними, але, з точки зору їх практичного застосування, стосуються існуючого принципу реалізації контролю атмосферних забруднень на стаціонарних постах згідно затвердженого програмного відбору проб у дискретні моменти часу 4 рази на добу за винятком вихідних та святкових днів. На реальних постах контролю кількість вимірюваних забруднювачів зазвичай становить від одиниць до десятків шкідливих речовин.

З урахуванням цього для довільного стаціонарного поста в довільний дискретний момент часу i виміри забруднень в загальному випадку будуть визначатися m -мірним вектором. При цьому складові вектора являють собою результати вимірів поточних концентрацій m забруднювачів атмосфери

$$z_i = d_i + \Delta_i, \quad i = 0, 1, 2, \dots, N_s - 1, \quad (7)$$

де d_i – вектор істинних, але не відомих, поточних концентрацій m забруднювачів атмосферного повітря; Δ_i – вектор невідомих поточних помилок виміру та збурень для відповідних m забруднювачів; N_s – максимальна кількість вимірів протягом заданого інтервалу контролю.

З урахуванням (7) РР для забрудненого атмосферного повітря будуть визначатися співвідношенням виду:

$$R^{m,\varepsilon}_{i,j} = \Theta(\varepsilon - \|z_i - z_j\|), \quad z_i \in \Omega^m, \quad z_j \in \Omega^m, \quad i, j = 0, 1, 2, \dots, N_s - 1, \quad (8)$$

де $\Theta(*)$ – функція Хевісайда; ε – заданий розмір околиці щодо РС відносно довільного стану z_i в момент часу i ; $\|*\|$ – позначено операцію визначення норми.

Для попередження НС внаслідок атмосферних забруднень у реальному часі потрібно обчислювати $R^{m,\varepsilon}_{i,j}$ тільки на основі вимірів у момент i та моменти часу, що йому передують (тобто в реальному темпі вимірів). Це означає, що величина N_s в (8) не фіксується, а послідовно приймає значення 0, 1, 2, 3... і т.д. У цьому випадку (8) будуть відображатися у наступному модифікованому вигляді:

$$RM^{m,\varepsilon}_{i,j} = \Theta(\varepsilon - \|z_i - z_j\|), \quad \text{при } z_i \in \Omega^m, \quad z_j \in \Omega^m, \quad i \neq j, \quad i \geq j, \quad i, j = 0, 1, 2, \dots \quad (9)$$

В роботі показано, що традиційні (8) та запропоновані (9) обчислення RP володіють неоднозначністю визначення функціонала норми, який породжує метрику, та порога (розміру околиці щодо РС). Це обумовлює метричні та порогові невизначеності обчислення (8) і (9). Вказані невизначеності призводять до неможливості обчислювати RP, які б відображали адекватно динаміку станів щодо реальних системи забруднення атмосферного повітря. Тому запропоновано модифікований метод обчислення RP у реальному часі в удосконаленому просторі на основі введення скалярного добутку, який можна представити у наступному вигляді:

$$RM^{m,\theta_\varepsilon}_{ij} = F(z_i, z_j, \theta_\varepsilon), \text{ при } z_i \in \Omega^m, z_j \in \Omega^m \quad i \neq j, i \geq j, i, j = 0, 1, 2, \dots, \quad (10)$$

де

$$F(z_i, z_j, \theta_\varepsilon) = \begin{cases} 1 \text{ якщо } z_i^T z_j > \sqrt{z_i^T z_i} \sqrt{z_j^T z_j} \cos(\theta_\varepsilon \pi / 180) \\ 0 \text{ якщо } z_i^T z_j \leq \sqrt{z_i^T z_i} \sqrt{z_j^T z_j} \cos(\theta_\varepsilon \pi / 180) \end{cases}. \quad (11)$$

У співвідношеннях (10) та (11) величина θ_ε – заданий кутовий поріг між відповідними векторами, який визначає умови рекурентності щодо ненульових векторів станів. Для нульових векторів станів кутовий поріг буде також нульовим щодо будь-якої величини θ_ε . У цьому випадку модифікований метод обчислення RP (10) дає нульове значення – відсутність РС системи. Наприклад, на відміну від цього, існуючі методи обчислення RP (8) при фіксованому порозі, в цій ситуації, будуть відображати хибне виявлення РС системи. Тому запропонований метод обчислення RP (10) є інваріантним до довжини вимірюваних векторів станів системи та володіє у зазначеному сенсі самонастроювальними властивостями. При цьому, скалярний добуток векторів у розглянутому просторі породжує новий тип конічної околиці рекурентності на відміну традиційної сферичної околиці, що породжується евклідовою метрикою. При використанні конічної околиці РС концепція класичної рекурентності втрачає своє первісне значення. У цьому випадку запропонований метод (10) буде відображати динаміку узагальненої рекурентності (конічної рекурентності), що є адекватною реальним системам. Крім того, модифікований метод (10) дозволяє подолати обмеження відомих методів щодо вказаної невизначеності відносно відображення RP. Такий підхід має також порівняно невисоку обчислювальну складність і володіє інваріантністю щодо типу та регулярності вимірів, характерних для існуючих програм відбору проб на стаціонарних постах контролю атмосферних забруднень.

Важливим щодо попередження НС техногенного характеру, обумовлених наявністю в атмосферному повітрі шкідливих речовин, на основі RP є здатність визначати динаміку РС вектору концентрацій забруднювачів атмосферного повітря. Однак, відомі міри РС є досить складними та не повною мірою дозволяють попереджати НС, що розглядаються. Пояснюється це неможливістю відомих методів RP і відповідних мір РС застосовуватись у реальному часі.

Тому, в роботі вперше запропоновано модифіковану чисельну міру РС, яка з урахуванням (9) може бути представлена у вигляді:

$$M_1(\varepsilon, i) = \frac{1}{i+1} \sum_{k=0}^i RM^{m,\varepsilon}_{i,k}, \quad i = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (12)$$

Модифікована міра (12), на відміну від відомих, дозволяє визначати щільність РС забрудненої атмосфери для поточного моменту часу i та заданого розміру околиці ε . Тому (12) може використовуватися для виявлення динаміки РС щодо вектора концентрацій довільного числа забруднювачів атмосферного повітря (7) у реальному часі. При цьому варто відмітити, що міра (12) зі збільшенням часу i спостереження знижує чутливість до змін у динаміці РС забрудненої атмосфери через прояв її кумулятивних властивостей. Крім цього модифікована чисельна міра (12) на початковому етапі спостережень має недостатню точність оцінювання РС. Тому, запропонована міра (12) в цілому має обмежені можливості щодо виявлення небезпечних особливостей у динаміці РС забрудненої атмосфери. З метою усунення зазначених обмежень міри (12) запропоновано використання віконної міри з ковзним уздовж осі часу спостереження вікном заданого розміру. Для довільного моменту i часу спостереження з урахуванням (9) зазначена віконна міра РС буде визначатися співвідношенням відповідного виду:

$$M_2(i, a, \varepsilon) = if \left(i < a, \frac{1}{i+1} \sum_{k=0}^i RM^{m,\varepsilon}_{i,k}, \frac{1}{a} \sum_{k=0}^{a-1} RM^{m,\varepsilon}_{i,i-k} \right). \quad (13)$$

У випадку введення скалярного добутку в просторі станів замість $RM^{m,\varepsilon}_{i,k}$ в (12) та (13) можна використовувати $RM^{m,\theta_\varepsilon}_{i,k}$ обчислену на основі (10). Це дозволяє одержати міри (12) та (13), що є інваріантними до довжини вимірюваних векторів станів системи забрудненої атмосфери та володіють, у зазначеному сенсі, самонастроювальними властивостями. Запропоновані міри (12) та (13) визначаються на основі попереднього складного обчислення RP, які суттєво залежать від відповідних апріорних даних. Відмічається, що з точки зору надійності попередження НС техногенного характеру обумовлених наявністю в атмосферному повітрі шкідливих речовин доцільною є розробка чисельних мір РС, заснованих на безпосередньому використанні небезпечних станів, які вимірюються у реальному часі без використання RP.

Будемо вважати, що сукупність поточних вимірюваних концентрацій забруднень визначається вектором X , якій через випадковий характер турбулентного переносу та розсіювання в атмосфері набуває одночасно як часового, так і частотного зсуву. Частотний зсув обумовлюється радіальною швидкістю руху забруднень у напрямку поста контролю. Нехай оператор Φ_τ визначає часовий зсув вектора X концентрацій забруднень на величину τ , а оператор Φ_φ – його частотний зсув на величину φ , обумовлену радіальною швидкістю V руху вектора X концентрацій у напрямку поста контролю. Тоді для поточного вектора вимірюваних концентрацій забруднень буде справедливе наступне визначення $\Phi_\varphi(\Phi_\tau(X))$. При цьому, відповідна ФН $\Psi(\tau, \varphi) = \langle X, \Phi_\varphi(\Phi_\tau(X)) \rangle$. Враховуючи дискретність вимірювань вектору X за часом у моменти $i=0, 1, 2, \dots$, масштаб часу k та затримка τ при визначенні ФН $\Psi(\tau, \varphi)$ можуть набувати тільки відповідні дискретні значення. З огляду на те, що на практиці операція

усереднення звичайно виконується для кінцевої ширини вікна M та, переходячи від енергії до середньої потужності, можемо представити ФН для дискретного вектора вимірюваних концентрацій забруднень у наступному вигляді:

$$\Psi^{\mu}(N, \tau N, \tau, k) = \text{if} \left\{ N < M + (M - 1)k + \tau, 0, \frac{1}{M} \sum_{v=0}^{M-1} X_{N-v}, X_{N-vk-\tau} \right\}. \quad (14)$$

де N – номер поточного дискретного часу спостереження вектору стану атмосферних забруднень в точці контролю. Запропоноване обчислення ФН (14) може розглядатися як чисельна міра схожості відповідних векторів. Чисельна міра (14) справедлива для довільного числа та виду складових вектора концентрацій забруднюючих речовин. Крім того, вона залишається справедливою й у випадку, коли складові вектора являють собою перевищення забруднювачами ГДК. У загальному випадку ФН (14) та відповідна до неї чисельна міра є узагальненням кореляційної функції та міри кореляції за часом і частотою. При цьому чисельна міра (14) характеризує ступінь подібності (рекурентності) векторів станів концентрацій забруднювачів атмосфери щодо різних значень масштабу часу k і затримки τ . Тому, міра (14) є моделлю РС забрудненої атмосфери для різних значень масштабу часу k і затримки τ та дозволяє моделювати появу РС у часі за ознаками нульової або близькій до нуля величини радіальної швидкості. Важливим є те, що запропонована модель може використовуватися не тільки для моделювання, а також щодо виявлення РС за вимірюваннями реальних станів забрудненого атмосферного повітря в точці контролю. При цьому моделювання та виявлення небезпечних станів здійснюються без використання апріорної та інформації про поточні метеорологічні параметри та стійкість атмосфери.

Однак, запропоновані чисельні міри РС, що здатні моделювати та виявляти небезпечні стани реальної забрудненої атмосфери, не дають інформацію про рівень небезпечного впливу таких забруднень на здоров'я людини – об'єкту впливу небезпеки в умовах виникнення НС. У матеріалах ВООЗ відмічається, що кожна 8 смерть у світі пов'язана з атмосферним забрудненням. При цьому останнім часом у закордонних публікаціях відмічається суттєвий небезпечний вплив атмосферних забруднень на здоров'я людини малих рівнів концентрації забруднювачів, близьких до ГДК. Тому, запропоновані моделі для визначення негайного та хронічних ризиків здоров'ю людини. Модель негайного ризику $Ri_3(C)$ визначається функцією

$$Ri_3(C) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{a+b \lg(C / ГДК_{м.р.})} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt, \quad (15)$$

де C – поточна концентрація забруднювача, мг/м^3 ; $ГДК_{м.р.}$ – граничнодопустима максимальна разова концентрація забруднювача в повітрі населених місць, мг/м^3 ; a, b – відомі коефіцієнти, які враховують клас небезпеки забруднюючої речовини; t – параметр інтегрування.

При цьому ризик (15) являє собою умовний індивідуальний ризик, рівний імовірності летального впливу (або захворювання), при якому населення

піддається впливу забруднювача, концентрація якого в повітрі C , а час експозиції (час перебування в забрудненій атмосфері) не менше 30 хвилин. Залежність ризику (15) виникнення негайних токсичних проявів від кратності перевищення $\Gamma ДК_{м.р.}$ для речовин різних класів небезпеки наведено на рис. 1.

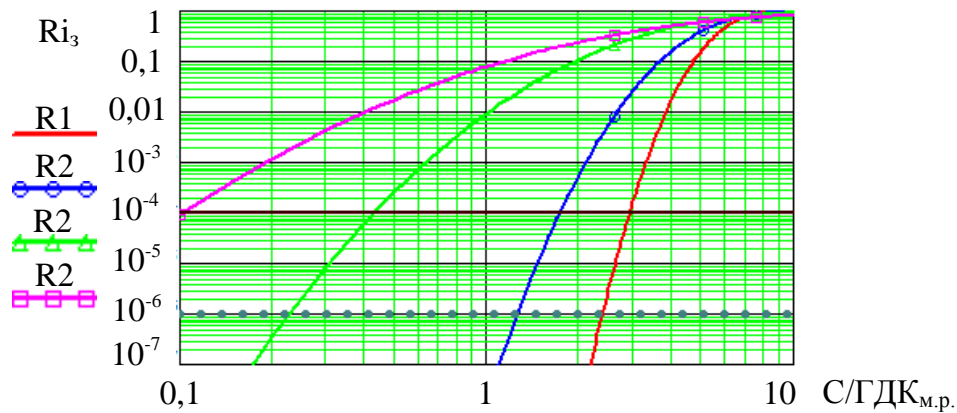


Рис. 1. Залежність ризику (15) виникнення негайних токсичних проявів від кратності перевищення $\Gamma ДК_{м.р.}$ для речовин різних класів небезпеки: R1 (надзвичайно небезпечні); R2 (високо небезпечні); R3 (помірковано небезпечні); R4 (мало небезпечні)

Зазначено, що для визначення критеріїв оцінки ризиків здоров'ю населення найчастіше використовують систему критеріїв прийнятності ризику. Відповідно до даної системи, індивідуальний ризик, рівний або менший 10^{-6} є допустимим. Величина ризику більша за 10^{-6} , але менша за 10^{-4} визначає зону граничнодопустимого ризику, тобто ризик 10^{-4} є верхньою границею прийняттого допустимого ризику (рис. 1). Саме на цьому рівні встановлена більшість закордонних та рекомендованих міжнародними організаціями гігієнічних нормативів для населення в цілому (наприклад, ВООЗ для атмосферного повітря як допустимий ризик використовує величину 10^{-4}).

Відмічається, що класифікаційні ознаки НС, які затверджені на теперішній час в Україні, відповідають перевищенням $\Gamma ДК$ забруднювачів атмосферного повітря в 20-29 та 30-40 разів. Враховуючи данні на рис. 1, діючим ознакам НС відповідають умовні індивідуальні ризики, для яких імовірності летального впливу дорівнюють одиниці – тобто достовірну смерть людини. Звідки витікає, що попередження НС внаслідок забруднення атмосферного повітря повинно відбуватися щодо перевищень $\Gamma ДК$, менших та близьких до одиниці.

Хронічний ризик $RiH_3(C)$ визначався за формулою, яка більш зручна для практичних розрахунків

$$RiH_3(C) = 1 - \exp \left[-0,174 \cdot \left(\frac{C}{\Gamma ДК_{с.д.} \cdot K} \right)^\beta \cdot T \right], \quad (16)$$

де $\Gamma ДК_{с.д.}$ – середньодобова граничнодопустима концентрація шкідливих речовини в повітрі населених місць, $мг/м^3$; T – час впливу забруднювача; β – коефіцієнт, що враховує особливості токсичних властивостей речовини; K – параметр, що враховує клас небезпеки речовини.

Залежність ризику (16) виникнення хронічних токсичних проявів від кратності перевищення $\text{ГДК}_{\text{с.д.}}$ для речовин різних класів небезпеки для 1 року впливу наведено на рис. 2.

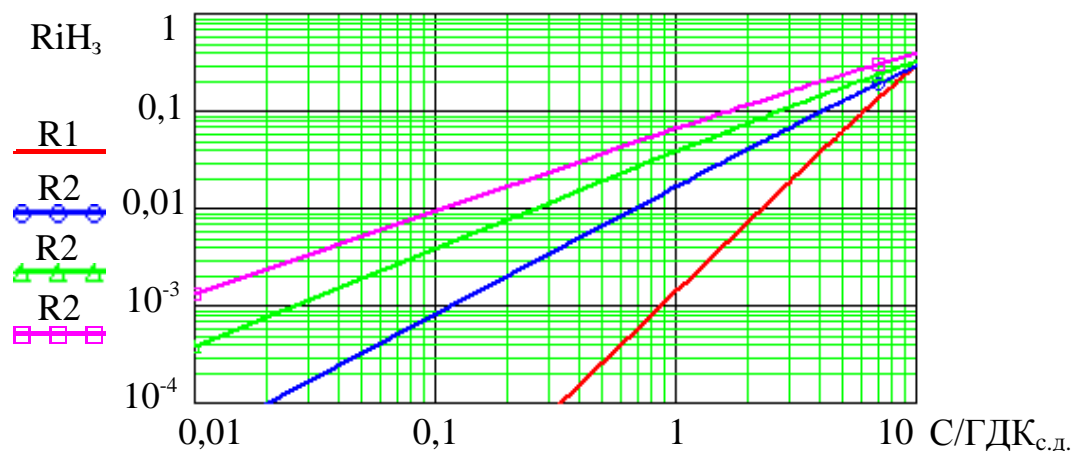


Рис. 2. Ризики хронічних інтоксикацій, як функція кратності перевищення концентрації токсиканта в атмосферному повітрі для речовин різних класів небезпеки: R1 (надзвичайно небезпечні); R2 (високо небезпечні); R3 (помірковано небезпечні); R4 (мало небезпечні)

З аналізу даних на рис. 2, з позиції ризику хронічних інтоксикацій витікає, що попередження НС внаслідок забруднення атмосферного повітря повинно відбуватися щодо перевищень ГДК , значно менших за одиницю. Відмічається, щодо критеріїв ризику здоров'ю та передчасної смерті населення від забруднення атмосферного повітря доцільно користуватися сучасними поданнями про рівень прийнятного індивідуального ризику, оскільки цей рівень базується на величині смертей на одну людину в рік. Критерії оцінки рівня ризику, пов'язаного зі смертю, розраховуючи на одну людину в рік, не суперечать сучасним поданням і є більш жорсткими в порівнянні з рівнем прийнятного індивідуального ризику для всього життя людини.

З урахуванням вищевикладеного, розроблена математична модель попередження НС техногенного характеру, обумовлених наявністю в атмосферному повітрі шкідливих речовин на території чи поблизу ОКІ з урахуванням ризику здоров'ю людини, буде визначатися системою залежностей (12) – (16). Залежності (12) – (14) описують перший блок моделі, в якому обчислюються на основі заданих концентрацій забруднювачів поточні РС, які засновані на використанні РР і ФН, що визначають небезпечні стани забрудненої атмосфери. Залежності (15) та (16) описують другий блок моделі, в якому обчислюється ризик здоров'ю людини від заданих концентрацій забруднювачів атмосферного повітря. Наступним кроком була розробка управляючого алгоритму інженерно-технічного методу попередження НС техногенного характеру обумовлених наявністю в атмосферному повітрі шкідливих речовин на території (поблизу) ОКІ. Він реалізує запропоновану математичну модель (12) – (16) та складається з дев'яти послідовних блоків, що розміщені на п'яти рівнях ієрархії та пов'язані прямими логічними зв'язками.

Від так у ході вирішення четвертого наукового завдання дослідження розроблено інженерно-технічний метод попередження НС техногенного

характеру внаслідок наявності в атмосферному повітрі шкідливих речовин на території (поблизу) ОКІ, який призначений для попередження виникнення небезпеки здоров'ю людей понад рівень допустимого індивідуального ризику. Застосування методу передбачає виконання наступної послідовності процедур: обґрунтування та визначення даних про техногенні ОКІ та небезпечні шкідливі речовини, що викидаються зазначеними ОКІ в атмосферне повітря; обґрунтування системи контролю атмосферних забруднень, засобів і сенсорів для вимірювання концентрації шкідливих речовин; вимірювання концентрацій забруднюючих речовин в атмосферному повітрі та обчислення поточних РР; інженерно-технічна реалізація розробленої математичної моделі забрудненої атмосфери на території (поблизу) ОКІ у частині визначення її РС за допомогою поточних РР та ФН щодо вимірюваних забруднюючих речовин; інженерно-технічне обґрунтування порогів щодо виявлення із заданою вірогідністю РС забрудненої атмосфери, а також уточнення ГДК для заданих забруднювачів; виявлення моментів перевищення поточними значеннями РС відповідних порогів з метою забезпечення відповідного рівня виявлення РС та попередження НС техногенного характеру; оцінка ризиків негайних токсичних ефектів і хронічної інтоксикації для населення, які спричиняються забрудненою атмосферою та заданими вимірами концентрацій забруднюючих речовин; обґрунтування відповідних управлінських рішень, направлених на зниження ризику здоров'ю людей від забруднення атмосфери та попередження НС техногенного характеру, обумовлених наявністю в атмосферному повітрі шкідливих речовин на території (поблизу) ОКІ, шляхом зниження або недопущення викидів шкідливих речовин в атмосферне повітря в моменти РС забрудненої атмосфери.

Також, запропоновані моделі бездротового середовища (БС), які дозволяють досліджувати комунікаційні можливості на фізичному рівні у випадку реалізації розроблених інженерно-технічних методів попередження НС техногенного характеру за допомогою оперативного контролю стану повітряного середовища в приміщенні та на території (поблизу) ОКІ, на основі використання безпілотних самохідних платформ. Відзначається, що дослідження розроблених моделей з урахуванням особливостей поширення радіохвиль та структури прийомних і передавальних антен є ключовими факторами, що впливають на комунікативні можливості дистанційної форми реалізації запропонованих інженерно-технічних методів попередження НС техногенного характеру в складних умовах.

У п'ятому розділі *«Перевірка розроблених математичних моделей та інженерно-технічних методів»* вирішено п'яте наукове завдання дослідження. Виконано перевірку розроблених мір кореляцій та взаємних кореляцій на інтервалі для флуктуацій основних небезпечних факторів повітряного середовища при ранньому загорянні, математичної моделі поточних показників фрактальності щодо вектору прирощень станів повітряного середовища при загоряннях у приміщеннях ОКІ та інженерно-технічного методу попередження НС техногенного характеру внаслідок пожеж (вибухів) за допомогою оперативного контролю стану повітряного середовища приміщень ОКІ, розроблених у розділі 3. Перевірка проводилась на основі експериментальних вимірів середньої об'ємної температури, щільності диму та концентрації чадного газу повітряного середовища в лабораторній камері при підпалі та горінні тестових матеріалів.

Проведено перевірку математичної моделі, яка визначається обчисленням RP , чисельними мірами динаміки PC забрудненого атмосферного повітря та відповідним ризиком здоров'ю людей, а також запропонованого інженерно-технічного методу попередження НС техногенного характеру обумовлених наявністю в атмосферному повітрі шкідливих речовин на території (поблизу) ОКІ, що розроблені у розділі 4. Перевірка здійснювалася на основі вимірів реальних концентрації забруднюючих речовин в атмосферному повітрі міської інфраструктури із використанням маршрутних постів.

Також, виконано валідацію запропонованих у розділі 4 двох точкової та багато точкової променевих комунікативних моделей бездротового середовища для тестових умов НС обумовлених пожежами та наявністю в атмосферному повітрі шкідливих речовин на території (поблизу) ОКІ.

Зовнішній вигляд лабораторної камери для експериментальної перевірки тестових загорянь наведено рис. 3.

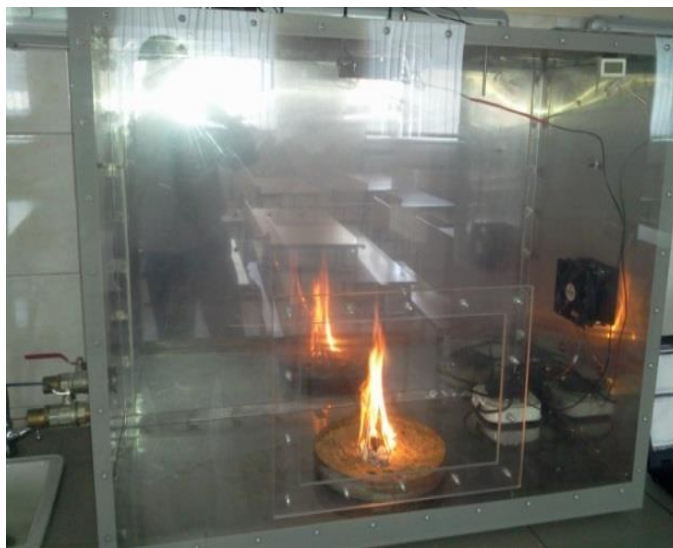


Рис. 3. Зовнішній вигляд лабораторної камери та тестового загоряння матеріалу

В результаті експерименту встановлено, що динаміка середньої об'ємної температури, щільності диму та концентрації чадного газу повітряного середовища у камері (рис. 3) при підпалі тестових матеріалів не є детермінованою, а носить складний та нестаціонарний характер з ознаками трендів та випадкових флуктуацій. Початковий стан небезпечних факторів повітряного середовища в камері при загоряннях матеріалів порушується. При цьому змінюється динаміка флуктуацій небезпечних факторів, що залежить від типу горючого матеріалу. Перевіркою встановлено, що запропоновані міри інтервальної кореляції та взаємні кореляції володіють обмеженнями та недостатньою чутливістю щодо надійного виявлення ранніх загорянь у приміщеннях ОКІ та попередження відповідних НС.

Перевірка запропонованих моделей поточних показників фрактальності станів повітряного середовища здійснювалась на основі використання експериментальних даних щодо обчислення поточної міри KP (2) та поточної міри PC (6) при підпалі тестових матеріалів у камері. Небезпечні фактори стану повітряного середовища вимірювалися з дискретністю часу $\Delta t=0,1$ секунда

протягом інтервалу часу 300 с. При цьому дискретні моменти часу i на інтервалі часу 300 с нумерувалися від 0 до N . Стан повітряного середовища в дискретний момент i визначався вектором $z(t_i)$, складовими якого були середня об'ємна температура, щільність диму та концентрація чадного газу повітряного середовища в камері. При цьому для кожного дискретного моменту i вектору $z(t_i)=z_i$ станів повітряного середовища визначався відповідний вектор прирощення $x_i=z_i-z_{i+1}$ між поточним i та наступним $i+1$ векторами стану.

Перед кожним підпалом матеріалів здійснювалась вентиляція камери протягом 5–7 хвилин з метою видалення наявних небезпечних факторів повітряного середовища, що були присутні після горіння попереднього матеріалу. Примусовий підпал тестових матеріалів здійснювався в районі $i=200$ відліку (20 с). Для вимірювання середньої об'ємної температури, щільності диму та концентрації чадного газу у повітряному середовищі камери використовувались штатні сенсори, що застосовуються в існуючих засобах виявлення пожежі в приміщеннях. Зазначені сенсори розміщувались в зоні конвекційного струменя на висоті 0,8 м від поверхні матеріалу, що підпалюється. На рис. 4 у якості ілюстрації наведені характерні результати перевірки динаміки КР вектора прирощень станів повітряного середовища при загорянні двох тестових матеріалів у камері за умови $r=0,0001$ щодо перших 400 відліків k та значень ширини вікна N_w , відповідно рівних 20 та 40 відліків.

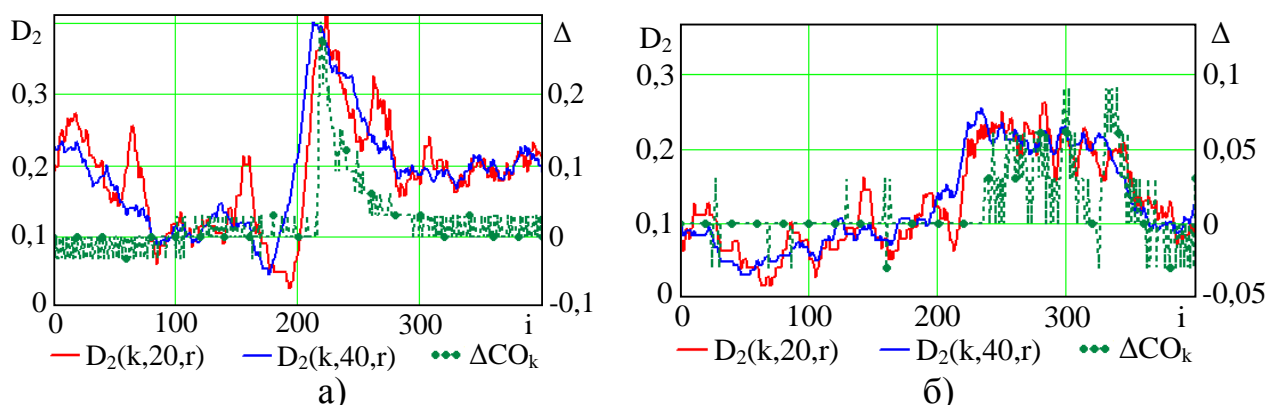


Рис. 4. Динаміка КР вектора прирощень станів повітряного середовища при загорянні різних матеріалів: а – спирту; б – деревини

Експериментальна динаміка КР вектору прирощень станів повітряного середовища у випадку загоряння текстилю при ширині N_w ковзного вікна 20 та 200 відліків щодо двох фіксованих значень величини $r=0,01$ та $r=0,0001$ наведена на рис. 5. Слід зауважити, що текстиль, як матеріал, володіє найбільш низьким темпом загоряння (загоряння текстилю складніше всього виявляти та вчасно попереджати). На рис. 4–5 зеленим кольором позначена динаміка прирощень концентрації чадного газу щодо досліджуваного вектору прирощень станів повітряного середовища для відповідних матеріалів. З аналізу динаміки поточної КР вектору прирощень станів повітряного середовища при загоряннях тестових матеріалів витікає, що величина КР не перевищує величину 0,5. Це вказує, що прирощення станів повітряного середовища в камері характеризуються різними показниками фрактальності та хаотичності щодо загорянь різних матеріалів.

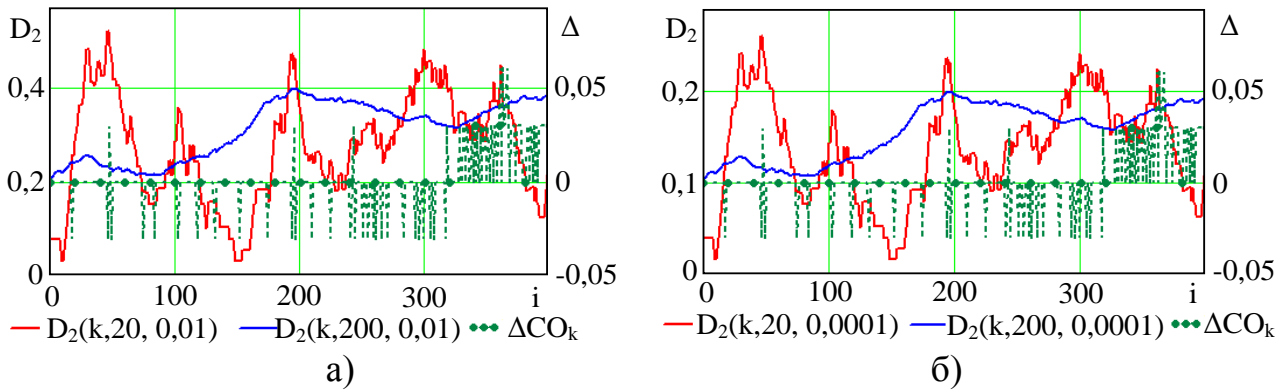


Рис. 5. Динаміка КР вектору прирощень станів повітряного середовища у випадку загоряння текстилю при значеннях: *a* – $r=0,01$; *б* – $r=0,0001$

При цьому, до загоряння матеріалу КР вектору прирощень станів близькі до 0,1. Це означає, що імовірність двох близьких значень вектору прирощень станів дуже мала, що характеризує їх випадковість. Поява загоряння призводить до збільшення величини КР (рис. 4, область 200 відліку) у середньому з 0,1 до 0,4, що порушує випадковість прирощень станів. При цьому збільшення вдвічі розміру вікна не змінює загальну структуру динаміки КР, а призводить лише до більшого згладжування. Окрім цього, всі характерні риси динаміки КР вектору прирощень станів повітряного середовища зберігаються. Одержано, що збільшення розміру вікна на порядок (рис. 5), призводить не тільки до істотного згладжування динаміки КР, але й до більш чіткого виявлення моменту початку загоряння. Це дозволяє здійснювати раннє виявлення загорянь матеріалів з низьким темпом запалення, наприклад, текстилю (рис. 5, область 200 відліку). Встановлено, що використання запропонованої поточної міри КР з обчисленням у рухомому вікні, зі збільшенням його ширини та радіуса сфери r можна розглядати в якості одного з конструктивних способів раннього виявлення загорянь матеріалів з низьким темпом загоряння.

Таким чином, експериментально доведена здатність розробленої поточної міри КР вектору прирощень станів повітряного середовища щодо виявлення ранніх загорянь матеріалів у приміщеннях ОКІ. Перевагою розглянутої міри КР є те, що вона базується на емпіричних даних та величині фрактальності щодо вектору прирощень станів повітряного середовища у приміщеннях, яке є складною системою. Перевірка показала, що за допомогою поточної міри КР вектору прирощень станів повітряного середовища можливо впевнено виявляти ранні загоряння та попереджувати виникнення НС внаслідок пожеж у приміщеннях ОКІ.

Перевірка поточної міри РС щодо вектору прирощень станів повітряного середовища при загоряннях у приміщеннях ОКІ здійснювалася на прикладі експериментальних даних щодо загорянь спирту та паперу в камері. Підпал спирту та паперу здійснювався в районі 200 відліку. На рис. 6 наведені КР вектору прирощень станів повітряного середовища, що обумовлені традиційним та запропонованим (5) обчисленням, для $i=0,1,2,\dots,400$ та $j=0,1,2,\dots,400$, у випадку загоряння спирту при $\varepsilon=0,01$. Як приклад, на рис. 7 зображені КР щодо вектору прирощень станів повітряного середовища у камері, що обумовлені традиційним та запропонованим (5) обчисленням, у випадку загоряння паперу при $\varepsilon=0,01$.

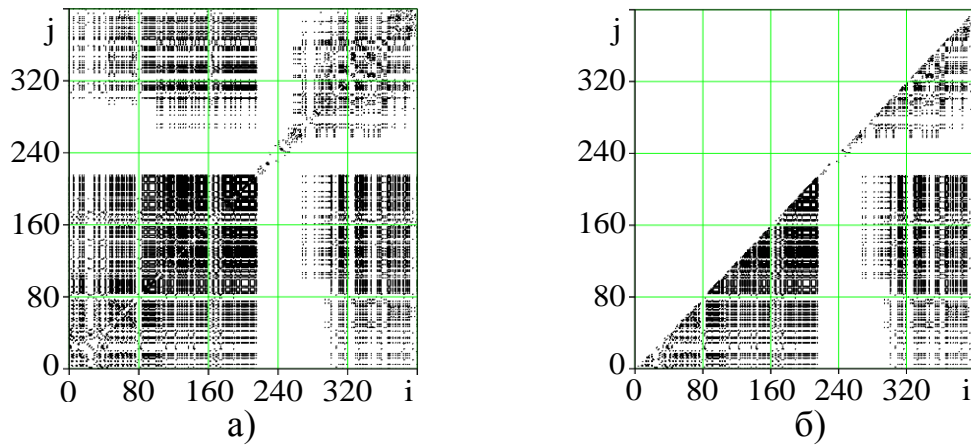


Рис. 6. Рекурентні діаграми вектору прирощень станів повітряного середовища у камері при загорянні спирту: а – при традиційному обчисленні; б – при запропонованому обчисленні

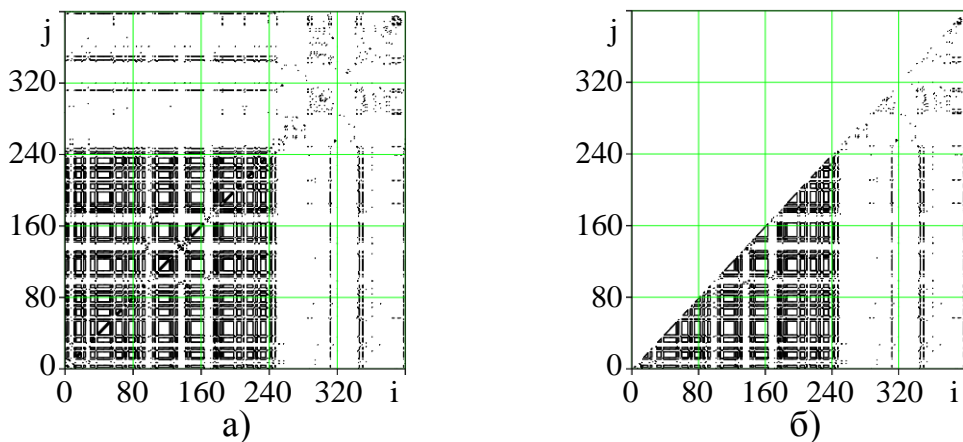


Рис. 7. Рекурентні діаграми щодо вектору прирощень станів повітряного середовища у камері при загорянні паперу: а – при традиційному обчисленні; б – при запропонованому обчисленні

Ілюстрація динаміки оцінки імовірності РС (б) щодо вектору прирощень станів повітряного середовища при загорянні спирту та паперу в камері для випадку $\varepsilon=0,01$ представлена на рис. 8.

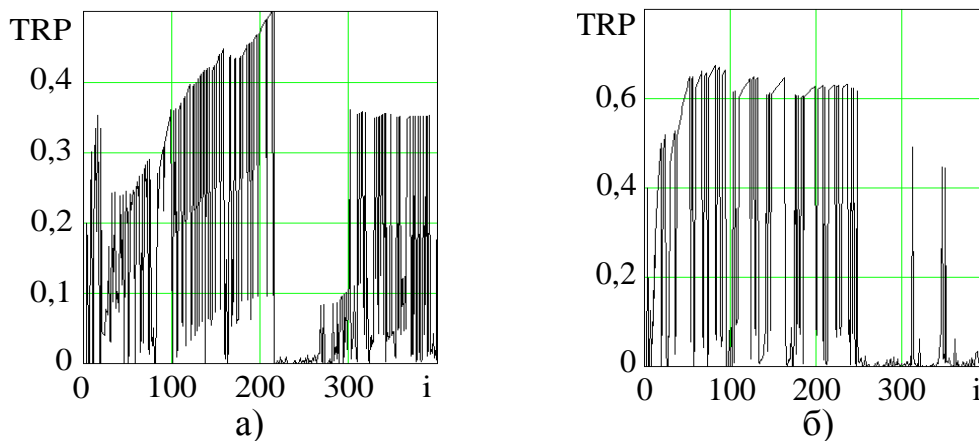


Рис. 8. Динаміка оцінки імовірності РС щодо вектору прирощень станів повітряного середовища при загорянні спирту та паперу в камері: а – спирт; б – папір

Із аналізу RP на рис. 6 та рис. 7 видно, що динаміка вектору прирощень станів повітряного середовища у випадку загоряння спирту та паперу виявляється в цілому різною. При цьому, до моменту загоряння динаміка вектору прирощень станів виявляється схожою та характеризується різкою зміною стійкості протягом коротких інтервалів часу. Такі зміни характерні для умов динамічної рівноваги в станах повітряного середовища, які відповідають відсутності загорянь. Деякі відмінності RP на цьому інтервалі пояснюються тим, що загоряння паперу відбувалося після загоряння спирту з подальшою вентиляцією камери. Це означає, що в повітряному середовищі могли бути присутнім залишкові явища. Однак, схожий характер RP до загоряння свідчить про близькість динаміки та практично достатній ступінь вентиляції камери. Білі області на RP свідчать про відсутність РС щодо вектору прирощень станів повітряного середовища. Ці області характерні втраті стійкості стану повітряного середовища та відповідають моменту виникнення загоряння. Подальша динаміка вектору прирощень станів повітряного середовища має хаотичний характер, пов'язаний з нестійкістю станів повітряного середовища при горінні. На рис. 6 та рис. 7 появи загорянь чітко відповідають області RP білого кольору. Це свідчить про те, що RP в цілому дозволяють виявляти початок загорянь. Трикутні форми RP на рис. 6 та рис. 7 на відміну від традиційних прямокутних форм обумовлюються тим, що обчислюються в реальному часі вимірювання. Тому трикутна форма подання RP є оперативною. Використання трикутних RP для обчислення поточної міри РС (6), що чисельно дорівнює поточній оцінці імовірності РС (рис. 8), свідчить про можливість використання поточної міри РС щодо виявлення ранніх загорянь та попередження відповідних НС, що пов'язані із пожежами у приміщеннях ОКІ. Таким чином, експериментально підтверджено, що поточна міра РС щодо вектору прирощень станів повітряного середовища, на відміну від відомих, здатна виявляти ранні загоряння в приміщеннях ОКІ.

Шляхом використання поліноміальної та раціональної апроксимації отримані співвідношення, що дозволяють визначати показники достовірності розробленого інженерно-технічного методу попередження НС техногенного характеру внаслідок пожеж (вибухів) на основі використання кореляційної розмірності (або рекурентності) станів вектору прирощень станів повітряного середовища. Показники достовірності методу оцінюються робочими характеристиками та характеристиками щодо виявлення загорянь у приміщеннях. Запропонована апроксимація забезпечує точність обчислення характеристик достовірності виявлення загорянь істотно вищою, ніж відомі методи теорії виявлення.

Встановлено, що для забезпечення високої достовірності інженерно-технічного методу попередження НС та одночасно низької імовірності помилкового попередження можливе тільки для незначних флуктуацій відповідного фону та істотного перевищення конкретним показником фрактальності його середнього значення. Тому, для забезпечення високої достовірності розробленого інженерно-технічного методу попередження НС у різних умовах пропонується використовувати одночасно два вказаних показники фрактальності щодо вектору прирощень станів повітряного середовища. При цьому запропоновано здійснювати попередження НС

внаслідок пожеж в приміщеннях ОКІ на основі одночасного перевищення зазначеними показниками фрактальності відповідних порогів.

Здійснено перевірку запропонованої математичної моделі, що базується на обчисленні RP (9) та (10), чисельних мірах динаміки PC забрудненого атмосферного повітря, що засновані на використанні RP і $ФН$ (12)–(14) та відповідних ризиках (15) та (16) здоров'ю людей, а також розробленого інженерно-технічного методу попередження $НС$ техногенного характеру обумовлених наявністю в атмосферному повітрі шкідливих речовин на території (поблизу) ОКІ. Достовірність результатів перевірки забезпечувалась використанням реальних вимірів концентрацій забруднюючих речовин в атмосферному повітрі на існуючих стаціонарних постах контролю в місті Черкаси в травні 2018 року. Крім того, цей місяць обрано тому, що в травні 2018 року мала місце достовірно небезпечна подія, яка призвела до госпіталізації 55 осіб. У даних осіб спостерігалися нудота, блювота, запаморочення та головний біль.

Використовувалися виміри щодо перевищення концентраціями двоокису азоту (2 клас небезпеки), формальдегіду (2 клас небезпеки) та аміаку (4 клас небезпеки) ГДК протягом травня 2018 року (умовний інтервал дискретних вимірів від 480 до 600 відліку). Щодоби шість разів на тиждень на кожному з постів здійснювалось по 4 (1.00, 7.00, 13.00, 19.00) вимірювання концентрацій відповідних забруднювачів атмосферного повітря (пост №2 – GPS: 49.446361,32.053106; пост №3 – GPS: 49.407947,32.093376; пост №4 – GPS: 49.421643,32.021621). При цьому концентрації формальдегіду контролювалися тільки постом № 3. На рис. 9 наведені вимірювані перевищення ГДК для поста № 3.

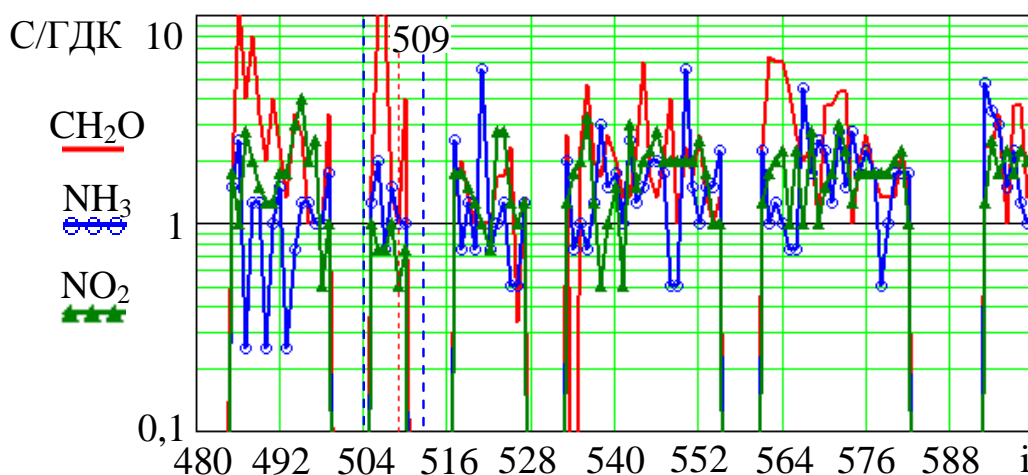


Рис. 9. Експериментальні вимірювання перевищень концентраціями двоокису азоту, формальдегіду та аміаку відповідних ГДК

Інтервал появи розглянутої достовірно небезпечної події на рис. 9 позначений пунктирними лініями синього кольору. В якості ілюстрації на рис. 10 зображені RP , обчислені відповідно до методу (8) у випадку евклідової метрики для $\varepsilon=2$, запропонованого самонастроювального методу (10) (без урахування умови $i \neq j, i \geq j$) для $\theta_\varepsilon=1^\circ$ та динаміки ε для цього методу.

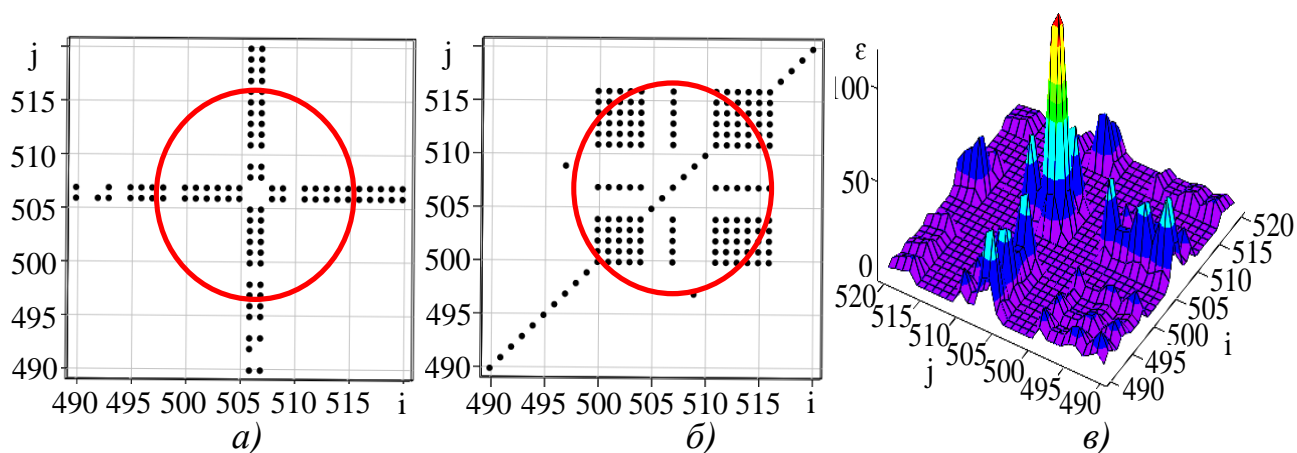


Рис. 10. RP вектора станів забруднень атмосфери на тестовому інтервалі: а – відомий метод; б – самонастроювальний метод; в – динаміка ϵ , самонастроювальний метод.

На рис. 10 а, б червоним кольором позначена область RP, яка відповідає априорі достовірному небезпечному стану забруднень атмосфери в проміжку між 504 та 511 відліком (рис. 9). Результати на рис. 10 а,б свідчать про те, що у порівнянні з відомими методами запропонований метод обчислення RP є більш інформативним, точним та адекватним щодо відображення РС. Цей метод здатний чітко виявляти небезпечні стани в системах у вигляді появи вертикальних та горизонтальних кластерів чорних крапок. Наявність прямокутних кластерів чорних точок на RP (рис. 10 б) є помилковими, оскільки обумовлені методикою обробки результатів вимірів, відповідно до якої в моменти відсутності вимірів їх значення дорівнювались величині 10^{-5} . Такий прийом дозволив у RP ідентифікувати відсутність вимірів.

Результати експериментальної перевірки чисельних мір РС на основі обчислення поточної ФН у вікні усереднення, яке містить 4 відліки, відповідно до (14) при нульовій затримці щодо сукупності шкідливих речовин формальдегіду, аміаку та оксиду вуглецю у площині час–масштаб часу наведені на рис. 11 а. Для цих умов на рис. 11 б наведено ФН у площині затримка–масштаб часу для $i=506$.

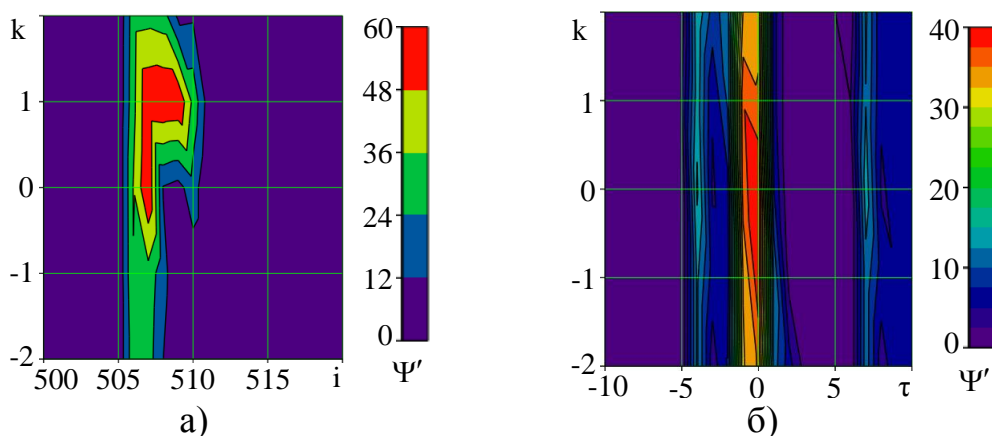


Рис. 11. Динаміка ФН станів забруднення атмосферного повітря у вікні усереднення, яке дорівнює 4 відлікам, при нульовій затримці у площинах: а – час–масштаб часу; б – затримка–масштаб часу для $i=506$

Ілюстрація динаміки запропонованої ФН, яка визначається (14) у вікні усереднення, яке має 4 відліки, щодо визначення РС забрудненого атмосферного повітря сукупністю формальдегіду, аміаку та оксиду вуглецю у площинні час-затримка та час-масштаб часу для різних її параметрів наведена на рис. 12, а, б відповідно.

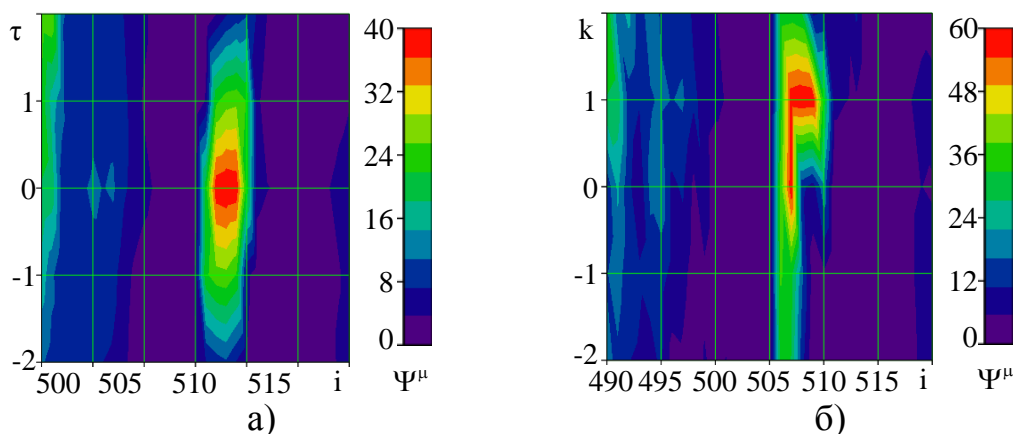


Рис. 12. Динаміка ФН (14) вектору станів атмосферних забруднень для різних параметрів функції: а – нульова радіальна швидкість ($k=1$); б – нульова затримка

Наведені на рис. 12 результати свідчать про переваги використання ФН для оперативного виявлення РС забрудненої атмосфери, що пов'язані з небезпечними станами. Переваги обумовлені можливістю ФН для виявлення РС станів забрудненої атмосфери за енергетичними та швидкісними параметрами забруднень. При цьому, як і в методі RP не використовується метеорологічна інформація про поточний стан атмосфери. Тому, використання ФН забезпечує оперативне та надійне виявлення РС щодо небезпечних забруднень атмосферного повітря.

Залежності (15) та (16), що описують другий блок запропонованої моделі, в якому обчислюються ризики здоров'ю людини від заданих концентрацій забруднювачів атмосферного повітря, перевірялись на реальних концентраціях двоокису азоту (2 клас безпеки), формальдегіду (2 клас безпеки) та аміаку (4 клас безпеки). Концентрації вказаних забруднювачів вимірювались на одному з маршрутних постів у травні місяці 2018 року. Інтервал еквівалентних дискретних вимірів концентрацій визначався від $i=480$ до $i=600$ відліку. Встановлено, що тільки для формальдегіду ризик негайних токсичних ефектів виявляється нижче нижньої границі $5.708 \cdot 10^{-11}$ перехідної зони. Наприклад, експериментальні залежності ризику негайних токсичних ефектів для аміаку (червоний колір) на даному інтервалі та перевищення вимірюваними концентраціями ГДК (синій колір) наведено на рис. 13. На рис. 13 маркером позначений відлік $i=509$, що належить інтервалу небезпечного для людини забруднення атмосфери де мала місце достовірна небезпечна подія. Встановлено, що концентрації двоокису азоту та аміаку обумовлюють неприпустимий індивідуальний ризик негайних токсичних ефектів для людини. При цьому експериментальна величина ризику хронічної інтоксикації (16) від розглянутих забруднювачів атмосферного повітря на інтервалі виявляється неприпустимою (вищою 10^{-3}).

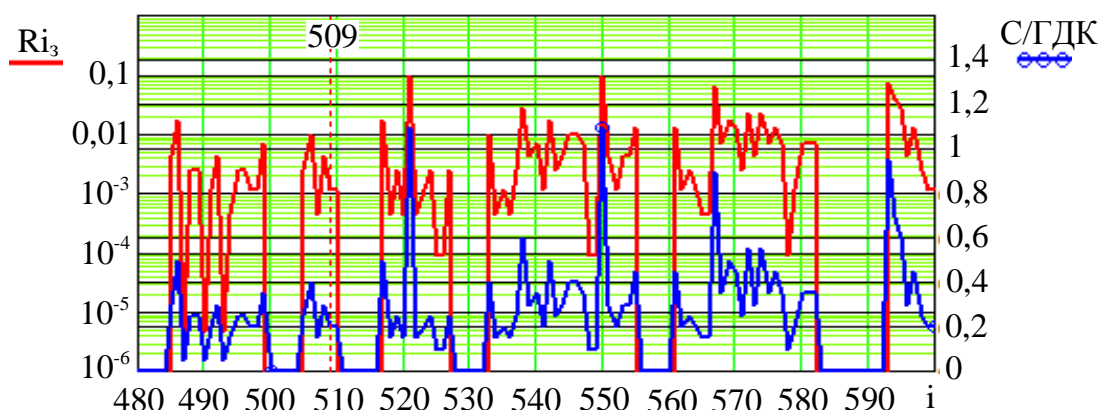


Рис. 13. Експериментальні залежності ризику негайних токсичних ефектів для аміаку

Отримані залежності щодо відповідних ризиків здоров'ю людини від концентрації атмосферних забруднень дозволяють чисельно визначати небезпечні впливи на населення з метою прийняття оперативних управлінських рішень щодо попередження виникнення можливих НС внаслідок наявності шкідливих речовин в атмосферному повітрі понад ГДК.

Таки чином, перевіркою встановлено, що запропонована модель, яка описується системою залежностей (12) – (16) дозволяє на основі вимірюваних (або змодельованих) даних щодо поточних концентрацій сукупності забруднювачів атмосферного повітря визначати його РС, пов'язані з небезпечними подіями нанесення ризиків здоров'ю людини.

Перевірка достовірності розробленого інженерно-технічного методу попередження НС, внаслідок наявності шкідливих речовин в атмосферному повітрі понад ГДК, здійснювалась на прикладі реальних вимірів концентрації забруднень атмосферного повітря в період достовірно небезпечної події, яка трапилась в травні 2018 року в м. Черкаси (рис. 9). Вимірялися концентрації аміаку, двоокису азоту та формальдегіду на трьох стаціонарних постах контролю, розташованих навколо місця виникнення зазначеної події. Вимірювання здійснювались на інтервалі часу, який охоплював момент виникнення вказаної достовірно небезпечної події. Згідно до запропонованої моделі, на основі вимірюваних концентрацій, визначалися поточні РС забруднень, а також поточні ризики хронічної та миттєвої дії на здоров'я людини. При цьому достовірність методу визначалась його здатністю щодо виявлення достовірно небезпечної події за поточною імовірністю РС забруднювачів та відповідним перевищенням поточними ризиками хронічної та миттєвої дії неприпустимого індивідуального ризику для здоров'я людини.

Через швидкість прояву небезпечної події важливим для перевірки достовірності запропонованого інженерно-технічного методу попередження НС досліджувався ризик саме миттєвої дії забруднювачів на здоров'я людини. Так, наприклад, встановлено, що концентрації аміаку (пост №3) на розглянутому інтервалі призводять до ризику миттєвої дії, що значно перевищує границю неприйняттого індивідуального ризику. Двоокис азоту при цьому лише короткочасно та в незначній мірі перевищує таку границю. Аналогічні результати мали місце і щодо поста №2. Однак для цього поста концентрації

двоокису азоту викликали ризик миттєвої дії, що значно перевищував границю неприйняттого індивідуального ризику. Для поста №4 тільки концентрації аміаку викликали ризик миттєвої дії, що значно перевищував границю неприйняттого індивідуального ризику.

Перевірка розробленого інженерно-технічного методу попередження НС на інтервалі появи небезпечної події засвідчила про значне перевищення ризиком миттєвої дії від забруднення атмосферного повітря аміаком на всіх постах границі неприйняттого індивідуального ризику. При цьому динаміка оцінки імовірності РС забруднень дозволяє на 6–12 годин раніше виявляти появу ризику миттєвої дії понад границі неприйняттого індивідуального ризику. Цей час дозволяє розпочати превентивні заходи щодо недопущення появи небезпечних подій, пов'язаних із небезпечним для людини забрудненням атмосферного повітря. Тому, запропонований інженерно-технічний метод попередження НС можна вважати достовірним. Крім того на основі використання оцінки поточної імовірності РС щодо забрудненої атмосфери дозволяє з різним ступенем достовірності попереджувати виникнення можливих небезпечних подій та НС. Разом з тим, показано, що попереджати появу небезпечних подій та НС на основі традиційного перевищення поточними концентраціями забруднювачів атмосфери відповідних їм максимально разових ГДК не представляється можливим. Перевіркою метода встановлено, що за ознаками, які відзначалися в відкритих публікаціях, можна стверджувати, що масове погіршення самопочуття 55 осіб відбулося через наявність в атмосферному повітрі аміаку та особливості метеорологічних умов, які сприяли слабкому розсіюванню аміаку в атмосфері (наявність РС у момент достовірно небезпечної події).

Валідація запропонованих двох точкової та багато точкової променевих комунікативних моделей БС для тестових умов НС обумовлених наявністю в атмосферному повітрі шкідливих речовин перевірена методом комп'ютерного моделювання в середовищі MathCAD-15. Встановлено, що розроблені моделі БС є працездатними. Показано, що використання направлених антен на передавальній та приймальній сторонах БС зі значними перешкоджаючими конструкціями, що затінюють та розсіюють радіохвилі, дозволяє істотно підвищити ефективність комунікативних можливостей у таких БС.

У шостому розділі «Варіанти впровадження розроблених математичних моделей та інженерно-технічних методів» вирішено шосте наукове завдання дослідження. Запропоновані варіанти впровадження розроблених інженерно-технічних методів попередження НС техногенного характеру в наслідок пожеж (вибухів) у приміщеннях та наявності в атмосферному повітрі шкідливих на території (поблизу) об'єктів критичної інфраструктури.

Розроблено комплексну систему оперативного контролю та управління станом повітряного середовища в приміщеннях та атмосферному повітрі як на території, так і поблизу ОКІ з метою попередження і недопущення відповідних НС. Комплексна система базується на тому, що система підтримки прийняття оперативного рішення має комплекс математичних інструментів щодо виявлення небезпечних станів повітряного середовища, які реалізують розроблені у роботі інженерно-технічні методи попередження НС техногенного характеру, а система

виконання управлінських рішень включає формалізацію реалізації управлінського рішення, постановку завдання виконавцям та оперативне управління станом повітряного середовища в приміщеннях та на території (поблизу) ОКІ. Загальна структурна схема комплексної системи оперативного контролю та управління станом повітряного середовища включає три взаємодіючі системи – систему поточного вимірювання стану повітряного середовища, систему підтримки прийняття оперативних рішень та систему виконання управлінських рішень. Система поточного вимірювання стану повітряного середовища дозволяє одержати поточну інформацію про стан забруднення повітря з урахуванням впливу поточних метеорологічних умов та особливостей рельєфу місцевості в точках контролю. Тому, традиційна інформація про метеорологічні умови та особливості рельєфу місцевості при контролі забруднень не використовується. Система підтримки прийняття оперативних рішень дозволяє проводити поточну кількісну оцінку забруднення повітря і виявляти небезпечні стани забруднення з метою попередження НС та формувати відповідні рішення щодо управління станом повітряного середовища. Система виконання управлінського рішення має у своєму розпорядженні необхідний ресурс щодо реалізації оперативних рішень, які направлені на попередження зазначених НС на ОКІ. Універсальність та конструктивність розроблених інженерно-технічних методів попередження НС, що засновані на уявленні повітряного середовища як складної динамічної системи, забезпечує їх інтегрування в існуючі та перспективні системи контролю атмосферного забруднення.

Система поточного вимірювання стану повітряного середовища може базуватися на використанні різних типів сенсорів та платформ для їх розміщення рис. 14. У випадку стаціонарних платформ система поточного вимірювання стану повітряного середовища може базуватися на використанні існуючих штатних пожежних сенсорів, які вимірюють небезпечні фактори повітряного середовища у приміщеннях при загоряннях і входять до складу систем протипожежного захисту, або стаціонарних постів контролю забруднень атмосферного повітря, що входять до складу єдиної системи контролю атмосферного забруднення України.

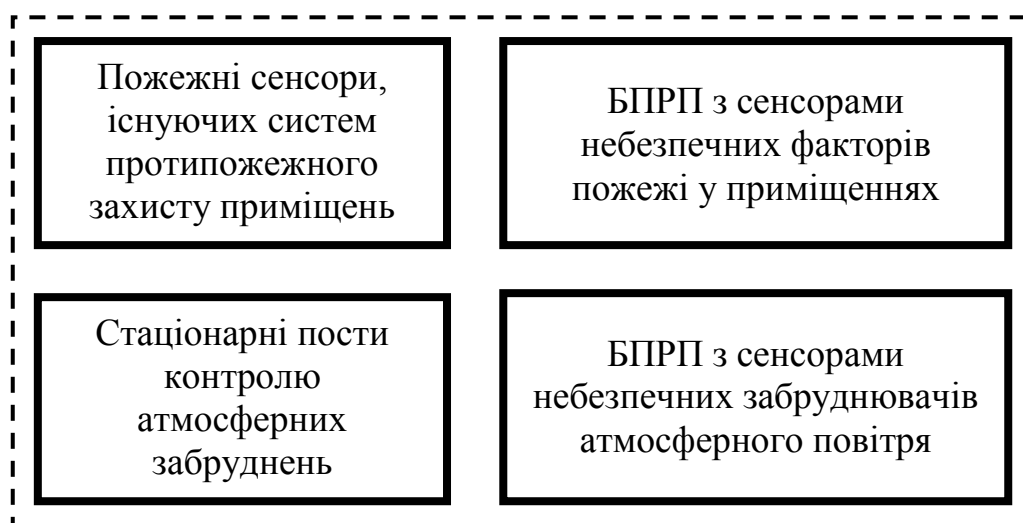


Рис. 14. Структурний склад системи поточного вимірювання стану повітряного середовища

Крім стаціонарних платформ вимірювальні сенсори системи поточного вимірювання стану повітряного середовища можуть розміщуватись на рухомих платформах наземного та повітряного базування. В цьому випадку передача інформації, що вимірюється відповідними сенсорами, та керування відбувається на основі організації безпроводного зв'язку з платформою.

Розроблено діючий зразок безпілотної рухомої платформи (БПРП) наземного базування (робот) для оперативного контролю стану повітряного середовища в приміщеннях та на території (поблизу) ОКІ. Розроблена БПРП може пересуватись в автоматичному режимі оминаючи перепони та передаючи вимірювані данні на приймач, або у ручному режимі за управлінням оператора (рятувальника). Для обходу перепони, зони високої температури чи пожежі на БПРП з переднього боку встановлено ультразвуковий радар, інфрачервоний датчик полум'я та датчик температури, для візуального контролю обстановки встановлено відео камеру, яка передає та транслює зображення зі звуковим супроводом режимі реального часу, а контроль загазованості виконано завдяки газоаналізатору, який встановлено на передній – верхній частині корпусу. Також на верхній частині у металевому корпусі встановлено антени, передавач та приймач для управління. В корпусі розміщено мікропроцесор, акумулятор, електродвигуни, модуль управління двигунами, модуль відеокамери, GPS модуль для відстеження місця знаходження БПРП.

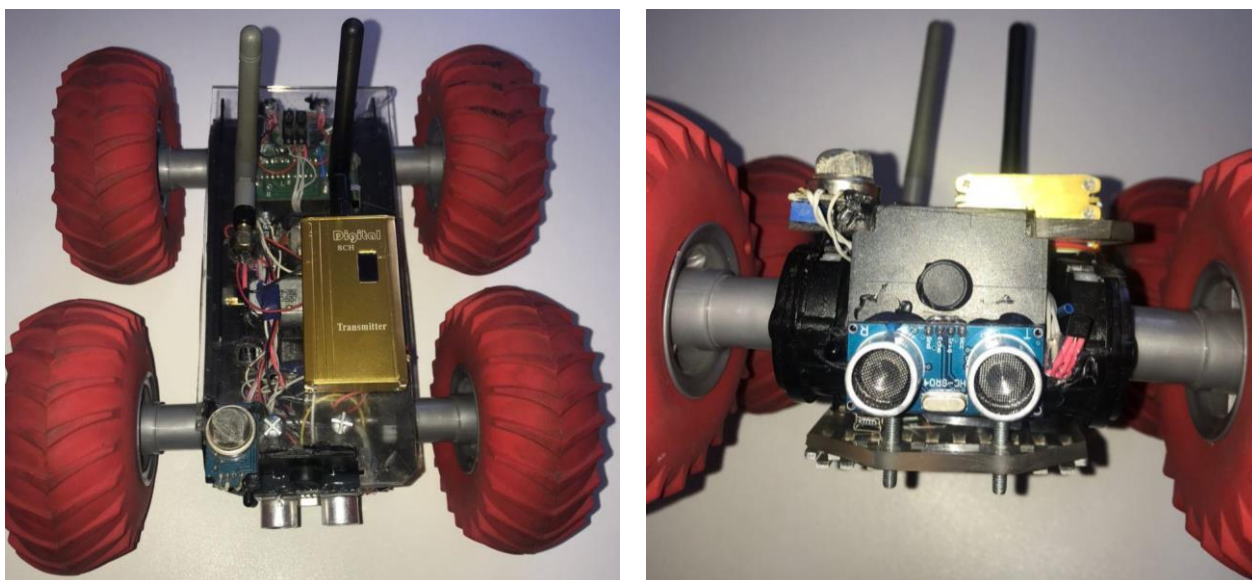


Рис. 15. Фотозображення розробленого діючого зразка безпілотної рухомої платформи наземного базування: а – вид зверху; б – вид з фронту

Розглянуто варіанти впровадження комплексної системи оперативного контролю та управління станом повітряного середовища на великих територіях. Відмічається, що при контролі та управлінні станом повітряного середовища на великих територіях необхідно застосовувати не тільки багато точок контролю, але і розташовувати точки контролю на різних висотах забрудненого атмосферного повітря. При цьому, структура систем поточного вимірювання стану повітряного середовища та підтримки прийняття оперативних рішень буде визначатися наявністю більшої кількості каналів, які відповідають кожній точці контролю стану повітряного середовища. У випадку використання множини існуючих

стаціонарних постів контролю атмосферних забруднень обробка інформації з урахуванням пристроїв відповідного порогового випробування, може здійснюватись в спеціальних державних лабораторіях контролю атмосферного забруднення міст. При використанні БПРП наземного базування обробка інформації може здійснюватись на базі штатного мікропроцесору, який входить до складу БПРП. При цьому до системи підтримки прийняття оперативних рішень необхідно передавати поточні координати БПРП.

У випадку необхідності контролю забруднень повітря на великих територіях на різних висотах запропоновано застосування БПРП на базі літальних апаратів. При цьому для управління БПРП з системи підтримки прийняття оперативних рішень необхідно передавати спеціальні команди управління та приймати інформацію щодо поточних координат БПРП. Відмічається, що управління БПРП на літальній базі може здійснюватись на основі реалізації відомих та апробованих технологій.

ВИСНОВКИ

Вирішена важлива наукова проблема у сфері цивільного захисту – створення нових інженерно-технічних методів попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах критичної інфраструктури за допомогою оперативного контролю стану повітряного середовища у приміщеннях та атмосферного повітря на території (поблизу) об'єктів.

В процесі виконання роботи були зроблені наступні наукові висновки.

1. Проаналізовано сучасний стан реагування та попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на небезпечних об'єктах. Встановлено, що небезпека надзвичайних ситуацій техногенного характеру має всесвітній характер та негативну динаміку щодо зростання, причинами переважної більшості надзвичайних ситуацій є пожежі, при цьому як нормальна так і аварійна робота небезпечних об'єктів характеризується значними викидами в атмосферне повітря небезпечних речовин. Попередження надзвичайних ситуацій забезпечується завчасним або оперативним проведенням комплексу заходів, спрямованих на максимально можливе зниження імовірності виникнення чи мінімізацію наслідків надзвичайних ситуацій, а також на збереження здоров'я людей, зниження розмірів шкоди, завданої довкіллю і матеріальних втрат у разі їх виникнення. При цьому ефективним принципом попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру є застосування активних систем безпеки, заснованих на використанні чутливих елементів (сенсорів), які відстежують стан небезпечного об'єкта і виявляють передумови виникнення аварійних ситуацій.

2. Розглянуті стан та особливості процесу попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах критичної інфраструктури України. Показано, що до об'єктів критичної інфраструктури відноситься сукупність стратегічно важливих об'єктів для економіки і національної безпеки, порушення функціонування яких може завдати шкоди життєво важливим національним інтересам. При цьому, для забезпечення стійкості об'єктів критичної інфраструктури до надзвичайних ситуацій потребують розробки нові інженерно-технічні методи попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру,

які базуються на оперативному контролі стану повітряного середовища об'єкта. Однак, існуючі методи та засоби попередження надзвичайних ситуацій розглядають повітряне середовище як лінійну систему, при цьому повітряне середовище в умовах небезпеки являє собою складну нелінійну динамічну систему. Визначено, що сучасним конструктивним підходом до вивчення зазначених систем є методи рекурентних діаграм і оцінки рекурентності станів, які, попри беззаперечні переваги, в системах попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру раніше не використовувались.

3. На основі математичної моделі поточних показників фрактальності у вигляді мір кореляційної розмірності та рекурентних станів щодо природних станів повітряного середовища при загорянні в приміщеннях розроблено інженерно-технічний метод попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру внаслідок пожеж (вибухів) у приміщеннях об'єктів критичної інфраструктури. Метод призначений для раннього виявлення загорянь за поточними показниками фрактальності щодо природних станів повітряного середовища у приміщеннях об'єктів. Застосування методу передбачає виконання семи процедур, а саме обґрунтування та визначення вхідних даних про об'єкти та небезпечні фактори повітряного середовища у приміщеннях, інженерно-технічного обґрунтування типів вимірювальних сенсорів, засобів і методик вимірів стану повітряного середовища, вимір небезпечних факторів станів повітряного середовища та обчислення поточних природних станів, використання запропонованої моделі щодо показників фрактальності природних станів, обґрунтування порогів для поточних значень мір кореляційної розмірності та рекурентності станів, виявлення моментів перевищення поточними значеннями мір кореляційної розмірності та рекурентності станів відповідних порогів з метою реалізації різного рівня надійності попередження надзвичайних ситуацій внаслідок пожеж (вибухів), обґрунтування та вибір управлінських рішень щодо попередження або недопущення виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру внаслідок пожеж (вибухів) у приміщеннях об'єктів критичної інфраструктури.

4. На основі математичної моделі системи забруднення атмосферного повітря на території (поблизу) об'єктів критичної інфраструктури у вигляді складної динамічної системи, що характеризується поточними значеннями рекурентних станів забрудненої атмосфери, які обчислюються на основі рекурентних діаграм і функції невизначеності щодо поточного вектору стану концентрацій забруднювачів, та ризиків негайних токсичних ефектів і хронічної інтоксикації від забруднювачів, розроблено інженерно-технічний метод попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру обумовлених наявністю в атмосферному повітрі шкідливих речовин на території (поблизу) об'єктів критичної інфраструктури. Метод призначений для попередження ризику здоров'ю людей понад величини прийнятного допустимого індивідуального ризику для людини. Застосування методу передбачає виконання восьми процедур, а саме інженерно-технічне обґрунтування системи контролю атмосферних забруднень та метрологічного забезпечення, технічне вимірювання та обчислення поточних рекурентних діаграм, використання математичної моделі забрудненої атмосфери з метою виявлення рекурентних станів та попередження надзвичайних

ситуацій техногенного характеру обумовлених наявністю в атмосферному повітрі шкідливих речовин на території (поблизу) об'єктів, оцінка ризиків негайних токсичних ефектів та хронічної інтоксикації для людини, що спричиняються забрудненою атмосферою, обґрунтування управлінських рішень щодо зниження ризику здоров'ю людини внаслідок наявності в атмосферному повітрі шкідливих речовин, шляхом зменшення рівнів або виключення локальних викидів шкідливих речовин в атмосферне повітря в моменти рекурентних станів забрудненої атмосфери. З урахуванням реалізації запропонованого методу на основі використання безпілотних рухомих платформ розроблені комунікативні моделі для безпровідних одно точкового та багато точкового середовища. Відзначається, що запропоновані моделі дозволяють досліджувати комунікативні можливості безпровідних середовищ на фізичному рівні для розробки надійної та стабільної інформаційної архітектури комплексної системи оперативного контролю стану повітряного середовища на основі використання безпілотних рухомих платформ.

5. Результати експериментів, виконаних у лабораторній камері при загорянні тестових матеріалів та вимірюванні небезпечних факторів повітряного середовища, підтвердили працездатність запропонованих моделей та інженерно-технічного методу попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру внаслідок пожеж (вибухів) у приміщеннях об'єктів критичної інфраструктури. Одержані робочі характеристики та характеристики виявлення ранніх загорянь дозволяють розраховувати кількісні показники достовірності інженерно-технічного методу попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру внаслідок пожеж (вибухів) у приміщеннях об'єктів щодо різних умов та свідчать про його достовірність. Достовірність моделей та інженерно-технічного методу попередження надзвичайних ситуацій внаслідок наявності шкідливих речовин в атмосферному повітрі перевірялась на основі реальних вимірів поточної концентрації забруднювачів атмосферного повітря на стаціонарних постах типової міської конфігурації з індексом забруднення повітря 6,8 од. (характерний для більшості міст світу з помірно розвиненою інфраструктурою) та їх здатності щодо виявлення апіорі достовірної небезпечної події. Одержані результати засвідчують достовірність запропонованих моделей та методу виявляти небезпечні події, що обумовлені небезпечним впливом забрудненого атмосферного повітря на людину. Результати моделювання для запропонованих двох точкових та багато точкових комунікативних моделей бездротового середовища у тестових ситуаціях, що характерні для розглянутих надзвичайних ситуацій, свідчать про їх валідацію та здатність для використання при розробці пропозицій з підвищення комунікативних можливостей бездротового середовища у випадку реалізації запропонованих інженерно-технічних методів попередження надзвичайних ситуацій на основі використання безпілотних рухомих платформ.

6. На основі розроблених інженерно-технічних методів попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру внаслідок пожеж (вибухів) та внаслідок наявності шкідливих речовин в атмосферному повітрі запропоновано нову комплексну систему оперативного контролю та управління станом повітряного середовища. До складу розробленої комплексної системи включені три системи – систему поточного вимірювання стану повітряного середовища в

приміщеннях та на території (поблизу) об'єктів критичної інфраструктури, систему підтримки прийняття оперативного управлінського рішення та систему виконання такого рішення.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, у яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

Монографії

1. Пospelov Б. Б., Андронов В. А., Рыбка Е. А., Мелещенко Р. Г., Карпец К. М. Разработка конструктивных методов повышения эффективности автоматического обнаружения возгораний в компрессорных станциях газотранспортных систем Украины. Монография. Харьков: НУЦЗУ, 2018. 172 с.

Особисто здобувачем виконано аналіз небезпек характерних для об'єктів газотранспортної системи, розроблені методи попередження надзвичайних ситуацій внаслідок пожеж.

Статті у закордонних фахових виданнях

2. **Meleshchenko R. G.** System analysis of prevention of man-made emergency situations in consequence of fire in the premises of the object // ScienceRise. 2020. Issue 1 (66). P. 38–46. doi: 10.21303/2313-8416.2020.001150 (науковий фаховий журнал Естонії, включеному до міжнародних наукометричних баз Index Copernicus, ERIHPLUS, BASE, WorldCat, Crossref, Google Scholar)

Статті у наукових фахових виданнях,

що входять до міжнародної наукометричної бази Scopus

3. Pospelov B., Rybka E., **Meleschenko R.**, Gornostal S., Shcherbak S. Results of experimental research into correlations between hazardous factors of ignition of materials in premises // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. Volume 6. Issue 10 (90). P. 50–56. doi: 10.15587/2312-8372.2016.85866 (Стаття у міжнародній наукометричній базі Scopus, Q2)

Особисто здобувачем інтерпретовані результати експериментального дослідження динаміки небезпечних факторів стану середовища в модельній камері.

4. Pospelov B., Petukhova O., **Meleschenko R.**, Gornostal S., Shcherbak S. Development of communication models of wireless environment in emergency situations // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. Volume 2. Issue 9 (92). P. 40–47. doi: 10.15587/1729-4061.2018.127023 (Стаття у міжнародній наукометричній базі Scopus, Q2)

Особисто здобувачем розроблена модель бездротового середовища в умовах надзвичайних ситуацій.

5. Pospelov B., Andronov V., Rybka E., **Meleschenko R.**, Borodych P. Studying the recurrent diagrams of carbon monoxide concentration at early ignitions in premises // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. Volume 3. Issue 9 (93). P. 34–40. doi: 10.15587/1729-4061.2019.155027 (Стаття у міжнародній наукометричній базі Scopus, Q2)

Особисто здобувачем запропоновано модифікацію рекурентних діаграм відстаней на основі ступеневих уявлень.

6. Korytchenko K., Markov V., Polyakov I., **Meleshchenko R.** Validation of the numerical model of a spark channel expansion in a low-energy atmospheric pressure discharge // Problems of Atomic Science and Technology. Plasma Electronics and New Methods of Acceleration. 2018. Volume 10. Issue 4 (116). P. 144–149. (Стаття у міжнародній наукометричній базі Scopus, Q3)

Особисто здобувачем виконано перевірку моделі формування джерел раннього загоряння.

7. Ozerov A., Vinnikov D., Skob Yu., **Meleshchenko R.** Numerical simulation of influence of the non-equilibrium excitation of molecules on direct detonation initiation by spark discharge // Problems of Atomic Science and Technology. Plasma Electronics and New Methods of Acceleration. 2018. Volume 10. Issue 4 (116). P. 194–199. (Стаття у міжнародній наукометричній базі Scopus, Q3)

Особисто здобувачем проаналізована небезпека ініціювання загоряння іскровим розрядом.

8. Pospelov B., Andronov V., Rybka E., **Meleschenko R.**, Gornostal S. Analysis of correlation dimensionality of the state of a gas medium at early ignition of materials // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. Volume 5. Issue 10 (95). P. 25–30. doi: 10.15587/1729-4061.2018.142995 (Стаття у міжнародній наукометричній базі Scopus, Q2)

Особисто здобувачем розроблено метод оцінювання динаміки кореляційної розмірності прирощень стану повітряного середовища.

9. Korytchenko K., Kasimov A., Golota V., Ajmani S., Dubinin D., **Meleshchenko R.** Experimental investigation of arc column expansion generated by high-energy spark ignition system // Problems of Atomic Science and Technology. Plasma Physics. 2018. Volume 24. Issue 6 (118). P. 225–228. (Стаття у міжнародній наукометричній базі Scopus, Q3)

Особисто здобувачем експериментально досліджено формування високоенергетичних джерел запалювання, характерних для об'єктів енергетики.

10. Pospelov B., Rybka E., **Meleschenko R.**, Borodych P., Gornostal S. Development of the method for rapid detection of hazardous atmospheric pollution of cities with the help of recurrence measures // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. Volume 1. Issue 10 (97). P. 29–35. doi: 10.15587/17294061.2019.155027 (Стаття у міжнародній наукометричній базі Scopus, Q2)

Особисто здобувачем розроблено метод оперативного виявлення небезпечної забрудненості атмосфери міст, який ґрунтується на динамічних мірах рекурентності станів вектора концентрацій забруднень.

11. Pospelov B., **Meleshchenko R.**, Kosse A., Khmyrov I., Bosniuk V. Development of a method for predicting the recurrence of states of atmospheric air pollution concentration in industrial cities // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. Volume 2 (98). Issue 10. P. 43–48. doi: 10.15587/1729-4061.2019.162652 (Стаття у міжнародній наукометричній базі Scopus, Q2)

Особисто здобувачем розроблено метод прогнозування рекурентності станів атмосферного повітря на основі модифікованої віконної міри.

12. Pospelov B., Andronov V., **Meleshchenko R.**, Danchenko Yu., Artemenko I., Romaniak M., Khmyrova A., Butenko T. Construction of methods for computing recurrence plots in space with a scalar product // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. Volume 3. Issue 4 (99). P. 37–44. doi: 10.15587/1729-

4061.2019.169887(Стаття у міжнародній наукометричній базі Scopus, Q2)

Особисто здобувачем запропоновані методи обчислення рекурентних діаграм в просторі зі скалярним добутком.

13. Pospelov B., Rybka E., Togobytska V., **Meleshchenko R.**, Danchenko Yu., Butenko T., Volkov I., Hafurov O., Yevsieiev V. Construction of the method for semi-adaptive threshold scaling transformation when computing recurrent plots // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. Volume 4. Issue 10 (100). P. 22–29. doi: 10.15587/1729-4061.2019.176579(Стаття у міжнародній наукометричній базі Scopus, Q2)

Особисто здобувачем розроблено метод напівадаптивної масштабної трансформації порогу при обчисленні рекурентних діаграм.

14. Pospelov B., Rybka E., **Meleshchenko R.**, Asotskyi V., Petukhova O., Gornostal S., Harbuz S. Development of a self-adjusting method for calculating recurrent diagrams in a space with a scalar product // EUREKA: Physics and Engineering. 2019. Issue 5. P. 10–18. doi: 10.21303/2461-4262.2019.00981(Стаття у міжнародній наукометричній базі Scopus, Q4)

Особисто здобувачем запропоновано самонастроювальний метод побудови рекурентних діаграм у просторі зі скалярним добутком.

15. Pospelov B., **Meleshchenko R.**, Krainiukov B., Karpets K., Petukhova O., Bezuhla Yu., Butenko T., Horinova V., Borodych P., Kochanov E. A method for preventing the emergency resulting from fires in the premises through operative control over a gas medium // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020. Volume 1. Issue 10 (103). P. 6–13. doi: 10.15587/1729-4061.2020.194009 (Стаття у міжнародній наукометричній базі Scopus, Q2)

Особисто здобувачем розроблено метод попередження надзвичайних ситуацій унаслідок пожеж в приміщеннях на основі використання поточної міри рекурентності приростів вектора стану повітряного середовища.

16. Pospelov B., Rybka E., **Meleshchenko R.**, Krainiukov O., Harbuz S., Bezuhla Yu., Morozov I., Kuruch A., Saliyenko O., Vasylychenko R. Use of uncertainty function for identification of hazardous states of atmospheric pollution vector // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020. Volume 2. Issue 10 (104). P. 6–12. doi:10.15587/1729-4061.2020.200140(Стаття у міжнародній наукометричній базі Scopus, Q2)

Особисто здобувачем виконано оцінку значень функції невизначеності для виявлення небезпечних станів довільного вектора атмосферних забруднень.

17. Pospelov B., Andronov V., Rybka E., Krainiukov O., Maksymenko N., **Meleshchenko R.**, Bezuhla Yu., Hrachova I., Nesterenko R., Shumilova A. Mathematical model of determining a risk to the human health along with the detection of hazardous states of urban atmosphere pollution based on measuring the current concentrations of pollutants // Eastern-European Journal of Enterprise. 2020. Volume 4. Issue 10 (106). P. 37–44. doi:10.15587/1729-4061.2020.210059 (Стаття у міжнародній наукометричній базі Scopus, Q2) *Особисто здобувачем розроблено математичну модель визначення ризику для здоров'я людей та виявлення небезпечних станів забрудненої атмосфери на основі вимірювання поточних концентрацій забруднювачів.*

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

18. **Мелешенко Р. Г.**, Мунтян В. К., Коврегін В. В. Имитационная модель создания противопожарного барьера совместными усилиями авиационных и наземных сил // Проблемы пожарной безопасности: Сборник научных трудов. Харьков: НУГЗУ. Вып. 37. 2015. С. 142–149. *(Стаття у науковому фаховому виданні України, включеному до міжнародних наукометричних баз Ulrich's Periodicals Directory, Research Bib, Google Scholar)*

Особисто здобувачем вивчено можливість застосування авіаційних та наземних засобів для вимірювання поточного стану повітряного середовища.

19. **Meleschenko R. G.**, Muntyan V. K., Tarasenko A. A. Justification of the approach for calculating the parameters of aviation emergency and rescue operations when using visual search // Проблеми надзвичайних ситуацій: Збірник наукових праць. Харків: НУЦЗУ. Вип. 25. 2017. С. 67–72. *(Стаття у науковому фаховому виданні України, включеному до міжнародних наукометричних баз Index Copernicus, Ulrich's Periodicals Directory, Research Bib, OpenAIRE, ZENODO, Google Scholar)*

Особисто здобувачем обґрунтовано підхід до візуальної оцінки обстановки при надзвичайних ситуаціях з використання засобів повітряного базування.

20. Хилько Ю. В., **Мелешенко Р. Г.** Визначення параметрів вогнегасної ефективності викиду порошкових сумішей з контейнерів // Проблемы пожарной безопасности: Сборник научных трудов. Харьков: НУГЗУ. Вып. 41. 2017. С. 196–200. *(Стаття у науковому фаховому виданні України, включеному до міжнародних наукометричних баз Ulrich's Periodicals Directory, Research Bib, Google Scholar)*

Особисто здобувачем запропоновано використання порошкових сумішей в системі виконання управлінських рішень для попередження надзвичайних ситуацій.

21. **Meleschenko R.**, Dureev V. Mathematical model of thermal fire detector with the thermistor // Проблемы пожарной безопасности: Сборник научных трудов. Харьков: НУГЗУ. Вып. 44. 2018. С. 89–92. *(Стаття у науковому фаховому виданні України, включеному до міжнародних наукометричних баз Ulrich's Periodicals Directory, Research Bib, Google Scholar)*

Особисто здобувачем розроблена модель чутливого елемента детектора пожежі.

22. **Мелешенко Р. Г.** Предотвращение чрезвычайных ситуаций на объектах критической инфраструктуры путем раннего выявления загрязнений воздуха // Проблеми надзвичайних ситуацій: зб. наук. праць. 2018. №28. С. 69–82. *(Стаття у науковому фаховому виданні України, включеному до міжнародних наукометричних баз Index Copernicus, Ulrich's Periodicals Directory, Research Bib, OpenAIRE, ZENODO, Google Scholar)*

23. Поспелов Б. Б., **Мелешенко Р. Г.**, Прокопенко О. В., Мельниченко А.С. Меры рекуррентности и методика их использования для изучения и прогнозирования динамики состояния экосистем // Проблеми надзвичайних ситуацій: зб. наук. праць. 2019. №29. С. 14–28. *(Стаття у науковому фаховому виданні України, включеному до міжнародних наукометричних баз Index Copernicus, Ulrich's Periodicals Directory, Research Bib, OpenAIRE, ZENODO, Google Scholar)*

Особисто здобувачем обґрунтовано застосування мір рекурентності для вивчення і прогнозування динаміки стану екосистем.

24. **Мелешенко Р. Г.** Модель для виявлення угроз виникнення незвичайних ситуацій техногенного характеру з допомогою моніторингу температури в приміщеннях об'єкта // Проблеми пожежної безпеки: Збірник наукових праць. Харків: НУГЗУ. Вип. 45. 2019. С. 117–124. *(Стаття у науковому фаховому виданні України, включеному до міжнародних наукометричних баз Ulrich's Periodicals Directory, Research Bib, Google Scholar)*

25. **Мелешенко Р. Г.** Інженерно-технічний метод запобігання незвичайних ситуацій техногенного характеру з допомогою контролю забруднення атмосферного повітря // Проблеми надзвичайних ситуацій: зб. наук. праць. 2019. №30. С. 85–97. *(Стаття у науковому фаховому виданні України, включеному до міжнародних наукометричних баз Index Copernicus, Ulrich's Periodicals Directory, Research Bib, OpenAIRE, ZENODO, Google Scholar)*

26. Поспелов Б. Б., Рыбка Е. А., **Мелешенко Р. Г.**, Бородин П. Ю., Самойлов М. А. Метод раннього виявлення небезпечної ситуації в приміщеннях на основі кореляційної розмірності небезпечних факторів газової середовища // Проблеми пожежної безпеки: Збірник наукових праць. Харків: НУГЗУ. Вип. 46. 2019. С. 143–154. *(Стаття у науковому фаховому виданні України, включеному до міжнародних наукометричних баз Ulrich's Periodicals Directory, Research Bib, Google Scholar)*

Особисто здобувачем запропоновано метод раннього виявлення небезпечної ситуації в приміщеннях на основі кореляційної розмірності небезпечних факторів повітряного середовища.

27. **Мелешенко Р. Г.** Раннє виявлення пожеги на основі контролю динаміки стану газової середовища в приміщеннях // Проблеми пожежної безпеки: Збірник наукових праць. Харків: НУГЗУ. Вип. 47. 2020. С. 71–80. *(Стаття у науковому фаховому виданні України, включеному до міжнародних наукометричних баз Ulrich's Periodicals Directory, Research Bib, Google Scholar)*

28. Поспелов Б. Б., Рыбка Е. А., **Мелешенко Р. Г.**, Самойлов М. А., Карпец К. М., Безуглая Ю. С. Інженерно-технічний метод запобігання незвичайних ситуацій техногенного характеру шляхом оперативного контролю стану газової середовища в приміщеннях об'єкта // Проблеми надзвичайних ситуацій: зб. наук. праць. 2020. №31. С. 234–246. *(Стаття у науковому фаховому виданні України, включеному до міжнародних наукометричних баз Index Copernicus, Ulrich's Periodicals Directory, Research Bib, OpenAIRE, ZENODO, Google Scholar)*

Особисто здобувачем розроблено інженерно-технічний метод попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру шляхом оперативного контролю стану повітряного середовища в приміщеннях об'єкта.

29. Поспелов Б. Б., Рыбка Е. А., **Мелешенко Р. Г.**, Самойлов М. А., Безуглая Ю. С. Методи обчислення мір течущої рекурентності флуктуацій стану газової середовища для раннього виявлення пожеги в приміщеннях // Проблеми пожежної безпеки: Збірник наукових праць. Харків: НУГЗУ. Вип. 48. 2020. С. 136–146. *(Стаття у науковому фаховому виданні України, включеному до міжнародних наукометричних баз Ulrich's Periodicals Directory, Research Bib, Google Scholar)*

Особисто здобувачем запропоновано новий підхід до обчислення мір

поточної рекурентності флуктуації стану повітряного середовища для попередження надзвичайних ситуацій внаслідок пожеж в приміщеннях.

30. Поспелов Б. Б., Андронов В. А., Рыбка Е. А., **Мелешенко Р. Г.**, Самойлов М. А., Бородич П. Ю. Риск нарушение нормальных условий жизнедеятельности человека при техногенных чрезвычайных ситуациях // Проблемы надзвичайних ситуацій: зб. наук. праць. 2020. №32. С. 31–43. (Стаття у науковому фаховому виданні України, включеному до міжнародних наукометричних баз *Index Copernicus, Ulrich's Periodicals Directory, Research Bib, OpenAIRE, ZENODO, Google Scholar*)

Особисто здобувачем виконано оцінку ризику порушення нормальних умов життєдіяльності людини в умовах надзвичайних ситуацій.

Патенти:

31. Система раннього виявлення надзвичайних ситуацій / Поспелов Б. Б., Андронов В. А., Рыбка Е. О., **Мелешенко Р. Г.**, Карпець К. М., Горінова В. В., Самойлов М. О. Пат. 139221 України, МПКG08B 19/00 (2019.01), заявник та патентовласник Національний університет цивільного захисту України. № у 2019 06486, заявка 10.06.2019, опуб. 26.12.2019, Бюл. №24.

Особисто здобувачем запропоновано технічне рішення щодо своєчасного виявлення надзвичайних ситуацій в інтересах їх недопущення.

32. Спосіб гасіння пожежі мобільним роботом / Андронов В. А., Карпець К. М., Семків О. М., **Мелешенко Р. Г.**, Мельниченко А. С. Бутенко Т. Ю., Рыбка Е. О. Пат. 132449 України, МПК G01N 3/24 (2006.01), заявник та патентовласник Національний університет цивільного захисту України. № у 2019 09788, заявка 01.10.2019, опуб. 25.02.2019, Бюл. №4.

Особисто здобувачем запропоновано технічне рішення щодо збору інформації мобільним роботом.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

33. **Мелешенко Р. Г.**, Ленфіра А. В. Аналіз способів та шляхів проведення рятування людей // Наукове забезпечення діяльності оперативно-рятувальних підрозділів (теорія та практика): збірник матеріалів Всеукраїнської науково-практичної конференції, 12 березня 2015 року, Харків: НУЦЗ України, 2015. С. 180–181. (Форма участі – очна)

Особисто здобувачем проаналізовано способи рятування людей як складової системи виконання управлінських рішень.

34. **Мелешенко Р. Г.**, Іщук В. М. Статистичний аналіз та прогноз нещасних випадків // Безпека життєдіяльності людини як умова сталого розвитку сучасного суспільства: Збірник тез VI Міжнародної науково-практичної конференції. 8-9 червня 2017 р. Київ: Таврійський Національний університет імені В. І. Вернадського, 2017. С. 85–90. (Форма участі – заочна)

Особисто здобувачем визначені небезпечні фактори характерні для умов надзвичайних ситуацій.

35. **Мелешенко Р. Г.**, Мунтян В. К., Тарасенко О. А. Застосування авіації при проведенні пошуково-рятувальних робіт // Матеріали науково-практичного семінару «Запобігання надзвичайним ситуаціям і їх ліквідація». 7 лютого 2018 р. Харків: НУЦЗ України, 2018. С. 137–140. (Форма участі – очна)

36. **Meleschenko R. G.**, Gornostal S. A. Investigation of the characteristics of the internal firefighting water pipeline elements // Proceedings of the 2nd Annual Conference Technology transfer: fundamental principles and innovative technical solutions 23 November 2018. Tallinn, Estonia, 2018. P. 55–57. (*Форма участі – очна*)

Особисто здобувачем запропоновано систему своєчасної протидії надзвичайним ситуаціям внаслідок пожеж.

37. **Поспелов Б. Б.**, Андронов В. А., Рыбка Е. А., Мелешенко Р. Г., Мельниченко А. С. Оперативный метод оценки влияния чрезвычайных ситуаций на окружающую атмосферу // Исторические аспекты, актуальные проблемы и перспективы развития гражданской обороны: сборник тезисов и докладов VII Международной научно-практической конференции адъюнктов, магистрантов, курсантов и студентов. 15 марта 2019. Кокшетау, РГУ «КТИ КЧС МВД Республики Казахстан». 2019. 188–192. (*Форма участі – заочна*)

Особисто здобувачем запропоновано розглядати атмосферне повітря як складну динамічну систему.

38. **Мелешенко Р. Г.**, Иванов Е. В. Запобігання надзвичайним ситуаціям техногенного характеру на об'єктах критичної інфраструктури шляхом раннього виявлення загроз // Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту: матеріали міжнародної науково-практичної конференції молодих учених. Харків: НУЦЗУ, 2019. С. 36. (*Форма участі – очна*)

Особисто здобувачем запропоновано підхід до попередження надзвичайних ситуацій на об'єктах критичної інфраструктури.

39. **Поспелов Б. Б.**, **Мелешенко Р. Г.**, Прокопенко О. В., Мельниченко А. С. Системный аспект предотвращения чрезвычайных ситуаций на объектах критической инфраструктуры // Теория і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій: матеріали X Міжнародної науково-практичної конференції. 11-12 квітня 2019 року. Черкаси. 2019. С. 62–64. (*Форма участі – заочна*)

Особисто здобувачем запропоновано попереджати надзвичайні ситуації на об'єктах критичної інфраструктури за рахунок використанні методів нелінійної динаміки на основі рекурентних діаграм.

40. **Поспелов Б. Б.**, Андронов В. А., Рыбка Е. А., **Мелешенко Р. Г.**, Самойлов М.А. Системный подход к обеспечению экологической безопасности развития энергетики // Фізико-технічні проблеми енергетики та шляхи їх вирішення 2019: матеріали Міжнародної науково-технічної конференції. 19 червня 2019. Харків. 2019. С. 57–58. (*Форма участі – очна*)

Особисто здобувачем розглянуто використання методів аналізу рекурентних станів для попередження надзвичайних ситуацій в енергетиці.

41. **Поспелов Б. Б.**, Андронов В. А., Рыбка Е. О., **Мелешенко Р. Г.**, Самойлов М.О. Парадигма запобігання надзвичайним ситуаціям, пов'язаних із забрудненням атмосфери міст // Розвиток цивільного захисту в сучасних безпекових умовах: матеріали 21 Всеукраїнської науково-практичної конференції (за міжнародною участю). 8 жовтня 2019 року. Київ, ІДУЦЗ. 2019. С. 218–221. (*Форма участі – заочна*)

Особисто здобувачем запропоновано підхід до прогнозування надзвичайних ситуацій на основі оперативного виявлення небезпечних станів систем.

42. **Мелешенко Р. Г.** Метод предотвращения чрезвычайных ситуаций // Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту: матеріали

міжнародної науково-практичної конференції молодих учених. Харків: НУЦЗУ, 2020. С. 25. *(Форма участі – очна)*

43. Поспелов Б. Б., Андронов В. А., Рыбка Е. А., Мелещенко Р. Г., Самойлов М. А. Метод предупреждения чрезвычайных ситуаций техногенного характера на основе текущей корреляционной размерности состояния газовой среды в помещениях объекта // Problems of Emergency Situations: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. Харків: Національний університет цивільного захисту України, 2020. С. 134–136. *(Форма участі – заочна)*

Особисто здобувачем розроблено метод попередження надзвичайних ситуацій на основі кореляційної розмірності стану повітряного середовища.

44. Поспелов Б. Б., Рыбка Е. А., Мелещенко Р. Г., Безуглая Ю. С., Самойлов М. А. Новая рецепторная модель атмосферных загрязнений для предупреждения и оперативного управления ликвидацией последствий чрезвычайных ситуаций // Надзвичайні ситуації: безпека та захист: матеріали X Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю. 29-30 жовтня 2020 року. Черкаси: ЧШБ імені Г. Чорнобиля УЦЗ України, 2020. С. 282–284. *(Форма участі – заочна)*

Особисто здобувачем запропонована рецепторна модель атмосферних забруднень для попередження надзвичайних ситуацій.

АНОТАЦІЯ

Мелещенко Р.Г. Інженерно-технічні методи попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах критичної інфраструктури за допомогою оперативного контролю стану повітряного середовища. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 21.02.03 – цивільний захист (21 – національна безпека). Національний університет цивільного захисту України, ДСНС, Харків, 2021.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню важливої наукової проблеми у сфері цивільного захисту – створення нових методів попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах критичної інфраструктури за допомогою оперативного контролю стану повітряного середовища в приміщеннях та на території (поблизу) об'єктів.

Розроблено нові науково-обґрунтовані математичні моделі та відповідні інженерно-технічні методи попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах критичної інфраструктури за допомогою оперативного контролю стану повітряного середовища в приміщеннях та на території (поблизу) об'єктів. Наведено результати експериментальної перевірки запропонованих математичних моделей та інженерно-технічних методів. Результати експериментів, виконаних у лабораторній камері при загорянні тестових матеріалів та вимірюванні небезпечних факторів повітряного середовища, підтвердили працездатність запропонованих моделей та інженерно-технічного методу попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру внаслідок пожеж (вибухів) у приміщеннях об'єктів критичної інфраструктури. Достовірність моделей та інженерно-технічного методу попередження надзвичайних ситуацій внаслідок наявності шкідливих

речовин в атмосферному повітрі перевірялась на основі реальних вимірів поточної концентрації забруднювачів атмосферного повітря на стаціонарних постах типової міської конфігурації з індексом забруднення повітря 6,8 од. та їх здатності щодо виявлення априорі достовірної небезпечної події. Одержані результати засвідчують достовірність запропонованих моделей та інженерно-технічного методу попередження надзвичайних ситуацій внаслідок наявності шкідливих речовин в атмосферному повітрі на території (поблизу) об'єкта. На основі запропонованих інженерно-технічних методів попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру внаслідок пожеж (вибухів) та внаслідок наявності шкідливих речовин в атмосферному повітрі запропоновано нову комплексну систему оперативного контролю та управління забрудненням повітря. До складу розробленої комплексної системи включені три системи – система поточного вимірювання забруднень повітря (небезпечних речовин), система підтримки прийняття оперативного управлінського рішення та система виконання такого рішення.

Ключові слова: надзвичайна ситуацій, попередження надзвичайних ситуацій, об'єкт критичної інфраструктури, інженерно-технічний метод, повітряне середовище.

ANOTATION

Meleshchenko R. G. Engineering and technical methods of prevention of man-made emergencies at critical infrastructure facilities by means of operative control of the air environment. – Qualified scientific work on the rights of the manuscript.

Thesis for a Doctor of Science Degree in specialty 21.02.03 – Civil Defence (21 – National Security). National University of Civil Defence of Ukraine, SES of Ukraine, Kharkiv, 2021.

The dissertation is devoted to the solution of an important scientific problem in the field of civil defence – the creation of new methods of preventing man-made emergencies at critical infrastructure through operational control of the air in the premises and (near) facilities.

Methods were used to solve the tasks: mathematical and simulation modeling, methods of systems analysis, probability theory, mathematical statistics, theory of nonlinear dynamics, fractal and recurrent analysis, as well as measures of recurrent states.

The introduction presents a general description of the dissertation. The relevance of the dissertation topic is substantiated, the purpose of the work and the main tasks of the research are formulated, the connection of work with scientific programs is shown. Data on the applicant's personal contribution, approbation of work and publication are given.

The first section analyzes the current state of response and prevention of man-made emergencies at hazardous sites. It is established that the danger of man-made emergencies is global in nature and has a negative growth dynamics, the causes of the vast majority of emergencies are fires, and both normal and emergency operation of hazardous facilities is characterized by significant emissions of hazardous substances.

In the second section, the state and features of the process of prevention of man-made emergencies at the critical infrastructure of Ukraine are considered. It is

shown that to ensure the resilience of critical infrastructure to emergencies require the development of new engineering and technical methods of prevention of man-made emergencies, which are based on operational control of the air environment of the object.

In the third section, on the basis of the developed mathematical model for current fractality indicators in the form of correlation dimension and recurrence of states of air fluctuations at ignition in premises of objects of critical infrastructure the corresponding engineering method of prevention of emergencies owing to fires (explosions) on objects is developed. . The method is designed for early detection of indoor fires. The implementation of the method involves the implementation of seven procedures.

In the fourth section, on the basis of the developed mathematical model of numerical measures of analysis of recurrent diagrams of dynamics of states of polluted atmospheric air taking into account risk to human health the engineering method of prevention of emergencies of technogenic character caused by presence in atmospheric air of the territory is developed. critical infrastructure projects. The method is designed to timely prevent threats to human health above the permissible level of individual risk. The implementation of the method involves the implementation of eight procedures.

In the fifth section, in order to verify the developed mathematical models and engineering methods, appropriate experimental studies were performed. The results of experiments performed in the laboratory chamber during the ignition of test materials and measurement of hazardous air factors confirmed the efficiency of the proposed models and engineering method of preventing man-made emergencies due to fires (explosions) in critical infrastructure. The reliability of models and engineering methods of emergency prevention due to the presence of harmful substances in the air was checked on the basis of real measurements of the current concentration of air pollutants at stationary posts of typical urban configuration with an air pollution index of 6.8 units. and their ability to detect a priori a reliable dangerous event. The obtained results testify to the reliability of the proposed models and methods to detect dangerous events caused by the dangerous effects of polluted air on humans.

In the sixth section, based on the developed engineering and technical methods of prevention of man-made emergencies due to fires (explosions) and due to the presence of harmful substances in the air, a new comprehensive system of operational control and management of the air is proposed. The developed integrated system includes three systems - the system of current measurement of the air in the premises and on the territory (near) of critical infrastructure, the system of support for operational management and the system of such decision.

Keywords: emergencies, emergency prevention, critical infrastructure facility, engineering method, air environment.

Підписано до друку 23.02.2021 р. Формат 60x84/16.

Папір 80 г/м³. Друк цифровий. Ум. друк. арк. 2,5.

Наклад 120 прим. Зам. № 7/20.

Сектор редакційно-видавничої діяльності
Національного університету цивільного захисту України
61023, м. Харків, вул. Чернишевська, 94