

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА УКРАЇНИ З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ

КУСТОВ МАКСИМ ВОЛОДИМИРОВИЧ



УДК 355.588:[614.8: 504.064]

**ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНІ МЕТОДИ ЛІКВІДАЦІЇ НАСЛІДКІВ
НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ, ЩО ПРИЗВОДЯТЬ ДО ВИКИДУ
В АТМОСФЕРУ НЕБЕЗПЕЧНИХ РЕЧОВИН**

Спеціальність 21.02.03 – цивільний захист

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Харків – 2019

Дисертацією є рукопис.

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

Науковий консультант: доктор хімічних наук, професор
Калугін Володимир Дмитрович
Національний університет цивільного захисту
України, м. Харків,
професор кафедри спеціальної хімії та хімічної
технології

Офіційні опоненти: доктор фізико-математичних наук, професор
Азаренко Олена Василівна
Національний авіаційний університет,
декан факультету кібербезпеки,
комп'ютерної та програмної інженерії

доктор технічних наук, доцент
Коротенко Григорій Михайлович
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»,
професор кафедри геоінформаційних систем

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

Захист відбудеться «19» червня 2019 р. о 12.00 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](http://nuczu.edu.ua/ukr/nauka/spetsializovani-vcheni-rady/50-katehoriia-uk-ua/spetsializovani-vcheni-rady/366-spetsializovana-vchena-rada-d64-707-04).

Автореферат розіслано «07» травня 2019 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



В.Ю. Колосков

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Вирішення проблеми ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру є важливою державною функцією, а її актуальність зумовлена як проявами природних катастроф, так і експлуатацією широкого спектра підприємств важкої, хімічної та атомно-енергетичної промисловості.

Навіть за умов нормальної роботи хімічних та металургійних підприємств у навколишнє середовище викидається велика кількість небезпечних хімічних речовин. При виникненні на таких об'єктах масштабних аварій небезпечні викиди в атмосферу збільшуються на 3-4 порядки. Це становить значну загрозу для населення, території та навколишнього середовища, які є основними елементами системи цивільного захисту. Через те, що розміри зони атмосферних забруднень можуть досягати сотень квадратних кілометрів по площині та до декількох кілометрів по висоті, локалізація та ліквідація наслідків таких надзвичайних ситуацій з використанням існуючих методів вимагає залучення великої кількості сил та засобів. Існуючі методи запобігання надзвичайним ситуаціям з викидом небезпечних речовин в атмосферу засновані на механізмах осадження шкідливих речовин розпиленою водою з використанням наземних технічних засобів подавання та розпилення. Такі засоби здатні впливати на зону ураження на висотах не більше десятка метрів.

Крім того, внаслідок великих природних та техногенних пожеж в атмосфері викидається велика кількість продуктів горіння. Продукти горіння складаються з газоподібних компонентів і твердих аерозолів сажі та золи. При контакті з газоподібними продуктами атмосфери деякі гази, утворені під час горіння, вступають із ними в реакцію з утворенням нових хімічно активних сполук, здатних до конденсації в атмосферних умовах. Тому практично єдиним методом очищення повітря від продуктів горіння є вимивання їх атмосферними опадами.

Однак багатофакторність параметрів, що впливають на стан атмосфери, не дозволяє, з використанням існуючих на сьогодні методів та способів, успішно вирішувати завдання прогнозування інтенсивності вимивання забруднюючих речовин з атмосфери, вибору ефективного способу штучного ініціювання опадів, розширення діапазону метеорологічних умов, що забезпечує успішне протікання процесів штучного опадоутворення та ін.

Виходячи із цих позицій, розробка методів ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру, які характеризуються наявністю в атмосферному повітрі шкідливих та радіоактивних речовин, з використанням розроблених методів штучного опадоутворення, є актуальною проблемою в галузі цивільного захисту.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Роботу виконано 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 слу-

жби з надзвичайних ситуацій», схваленої Розпорядженням КМУ від 25 січня 2017 р. №61-р. Дослідження є складовою частиною науково-дослідних робіт: «Розробка комп'ютерної системи прогнозування інтенсивності опадів на поверхні Землі в залежності від фізико-хімічних властивостей атмосфери» (реєстраційний номер 0116U002019), в якій здобувач був керівником; «Дослідження умов раннього моніторингу та попередження надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру» (реєстраційний номер 0112U002587); «Дослідження шляхів удосконалення моніторингу надзвичайних ситуацій за допомогою безпілотних літальних апаратів» (реєстраційний номер 0117U002005); «Дослідження гідравлічних струменів при створенні систем управління екологічною безпекою об'єктів підвищеного ризику» (реєстраційний номер 0116U002002), в яких здобувач був виконавцем.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є розробка нових організаційно-технічних методів ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру, що призводять до викиду газоподібних та дисперсних небезпечних речовин в атмосферу, шляхом штучного ініціювання опадів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні науково-технічні задачі:

1. Проаналізувати існуючі системи та принципи ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру, що призводять до викиду газоподібних та дисперсних небезпечних речовин в атмосферу;

2. Розглянути особливості надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру з викидом небезпечних речовин в атмосферу;

3. Розробити організаційно-технічний метод ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру шляхом осадження з атмосфери небезпечних газоподібних та дисперсних речовин;

4. Розробити організаційно-технічний метод ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру шляхом локалізації осередків інтенсивного горіння;

5. Перевірити достовірність розроблених організаційно-технічних методів ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру, що призводять до викиду в атмосферу небезпечних речовин;

6. Запропонувати варіанти впровадження розроблених організаційно-технічних методів ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру.

Об'єкт дослідження. Надзвичайні ситуації природного та техногенного характеру, які супроводжуються викидом в атмосферу небезпечних речовин.

Предмет дослідження. Ліквідація наслідків надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру, що призводять до викиду небезпечних газоподібних та дисперсних речовин в атмосферу, шляхом штучного ініціювання опадів.

Методи дослідження. З використанням методів математичного та імітаційного моделювання, методів вирішення оптимізаційних задач було розроблено математичні моделі процесів ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій природ-

ного та техногенного характеру. Методи мікроскопії дисперсних систем, фізико-хімічні методи вимірювання метеорологічних параметрів, методи напівпровідникового детектування, методи проведення піролітичних випробувань були використані при розробці лабораторних установок. Теорія планування експерименту та методи математичної статистики були використані при обробці результатів експериментів та під час перевірки достовірності отриманих результатів.

Наукова новизна одержаних результатів. Вирішено важливу науково-технічну проблему в галузі цивільного захисту, а саме, розроблено два нових організаційно-технічні методи ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру, що призводять до викиду в атмосферу газоподібних та дисперсних небезпечних речовин.

У процесі виконання роботи вперше отримані наступні наукові результати.

1. Розроблено математичну модель осадження штучно ініційованими опадами газоподібних та дисперсних небезпечних речовин, що потрапляють в атмосферу в наслідок природних та техногенних катастроф, яка являє собою систему з чотирьох залежностей, в якій перша та друга залежності описують процеси осадження газоподібних небезпечних речовин і вплив обраного управлінського рішення, а третя й четверта залежності описують інтенсивність процесу осадження дисперсних небезпечних речовин як результат вибору управлінського впливу.

2. Розроблено організаційно-технічний метод ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру шляхом осадження з атмосфери газоподібних та дисперсних небезпечних хімічних і радіоактивних речовин, який спирається на розроблену математичну модель процесу осадження штучно ініційованими атмосферними опадами газоподібних та дисперсних небезпечних речовин і передбачає виконання п'яти процедур, а саме: отримання керівником ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій необхідного комплексу моніторингової інформації; розрахунок часу вільного поширення зони ураження в атмосфері; визначення розмірів прогнозованої зони атмосферного ураження; проведення оцінки належності площі НС області допустимих рішень; залучення сил та засобів для ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій.

3. Розроблено математичну модель процесу локалізації та ліквідації штучно ініційованими опадами осередків природних та техногенних катастроф з інтенсивним горінням, яка являє собою систему з п'яти залежностей. Перша залежність описує рух падаючої краплі опадів над осередком надзвичайної ситуації. Друга і третя залежності описують масовий та тепловий баланс краплі в осередку горіння. Четверта залежність описує процес поглинання тепла атмосферними опадами від осередку горіння залежно від управлінського впливу на атмосферні процеси. П'ята залежність визначає граничну умову, коли ліквідація осередку інтенсивного горіння неможлива та відбувається лише його локалізація.

4. Розроблено організаційно-технічний метод ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру шляхом локалізації осередків інтенсивного горіння, який спирається на розроблену математичну модель процесу локалізації та ліквідації штучно ініційованими опадами осередків природних та техногенних катастроф з інтенсивним горінням та передбачає викорис-

тання чотирьох процедур, а саме: збір, обробка та систематизація моніторингових даних; прогнозування розвитку осередку горіння та інтенсивності опадів; постановка конкретних задач виконавцям; безпосередній вплив на атмосферні процеси.

5. Розроблено функціональну схему експериментальної масообмінної установки для дослідження процесів осадження краплями опадів газоподібних, рідких та твердих аерозольних небезпечних речовин, включаючи продукти горіння (Патент № 104957, Україна).

6. Розроблено функціональну схему експериментальної камери для дослідження процесів горіння, яка реалізує можливість встановлення інтенсивності горіння горючих матеріалів з різними властивостями у широкому діапазоні метеорологічних умов, включаючи опади, температуру, вітер та вологість горючого матеріалу і повітря (Патент № 104957, Україна).

Практичне значення отриманих результатів полягає в розробці нових підходів до ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру, де визначальним є використання методів штучного опадоутворення. Розроблено комплексну систему запобігання надзвичайним ситуаціям природного та техногенного характеру, що призводять до поширення в атмосфері газоподібних та дисперсних небезпечних речовин, на основі розроблених алгоритмів ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій шляхом осадження небезпечних речовин з атмосфери і шляхом локалізації осередків природних та техногенних катастроф, що супроводжуються інтенсивним горінням.

Основні наукові положення та висновки дисертаційної роботи доведено до рівня конкретних методичних розробок і прикладних рекомендацій. На основі результатів моделювання процесів опадоутворення та осадження небезпечних речовин із атмосфери, а також отриманих емпіричних моделей сорбції димів, розроблено автоматизований програмний комплекс, який дозволяє спростити та підвищити оперативність прогнозування та організації процесів мінімізації наслідків надзвичайних ситуацій для атмосферного повітря в широкому діапазоні метеоумов при технічній реалізації різних методів штучного опадоутворення.

Результати досліджень впроваджені: в Державному пожежно-рятувальному загоні ГУ ДСНС України в Донецькій області, що дозволило підвищити точність прогнозування зон радіоактивного і хімічного забруднення території (з урахуванням можливості випадання опадів над зоною забруднення) у разі виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру; в підрозділах Головного управління ДСНС України в Луганській області, що дозволило підвищити якість розвідки лісових і степових пожеж великого масштабу і визначення зони хімічного забруднення у разі виникнення техногенних аварій; в навчальний процес Інституту державного управління у сфері цивільного захисту (дисципліни «Організація аварійно-рятувальних робіт», «Термодинаміка та теплопередача», «Тактика пожежогасіння та рятувальних робіт»).

Особистий внесок здобувача. Основні положення та результати дисертаційної роботи отримані автором особисто і наведені в роботах [1–60]. В наукових роботах [2, 3, 6–10, 12, 13, 15–20, 24–27, 32–40, 44, 47, 49–60], що опубліковані у

співавторстві, особисто здобувачу належать: постановка задач, аналіз останніх досліджень і публікацій, проведення розрахунків та експериментальних досліджень, аналіз отриманих результатів. Крім цього, здобувачу також належать: у роботах [1, 5, 13, 14, 31, 32, 46] – аналіз особливостей надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру, що призводять до викиду в атмосферу небезпечних речовин; у роботах [6, 8–11] – аналіз способів та засобів ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру; у роботах [1–3, 12, 13, 19, 20, 37–39] – аналіз способів та засобів штучного ініціювання опадів; у роботах [22, 28, 32, 33, 56] – розроблена математична модель осадження штучно ініційованими опадами газоподібних та дисперсних небезпечних речовин, що потрапляють в атмосферу у наслідок природних та техногенних катастроф; у роботах [5, 9–11, 14, 16, 17, 29] – розроблена математична модель процесу локалізації та ліквідації штучно ініційованими опадами осередків природних та техногенних катастроф з інтенсивним горінням; у роботах [6, 7, 23–25] – розроблений організаційно-технічний метод ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру шляхом осадження з атмосфери газоподібних та дисперсних небезпечних хімічних і радіоактивних речовин; у роботах [8, 53–55] – розроблений організаційно-технічний метод ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру шляхом локалізації осередків інтенсивного горіння; у роботах [15, 59] – розроблена лабораторна установка для дослідження процесів осадження краплями опадів газоподібних, рідких та твердих аерозольних небезпечних речовин, включаючи продукти горіння; у роботах [26, 57] – розроблена лабораторна установка для дослідження процесів горіння; у роботах [4, 9, 10, 14, 34] – планування, підготовка та проведення лабораторних експериментів з перевірки достовірності розроблених математичних моделей та організаційно-технічних методів, їх обробка та аналіз.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати роботи доповідались та обговорювались на наукових конференціях: Міжнародній науково-практичній конференції «Пожарная безопасность: проблемы и перспективы», Воронеж (Росія), 2011, 2012 [35, 38]; X Міжнародній науково-практичній конференції «Пожежна безпека-2011», Харків, 2011 [36]; VII науково-практичній конференції «Пожарная и аварийная безопасность», Іваново (Росія), 2012 [37]; XXV науковій конференції країн СНД «Дисперсні системи», Одеса, 2012 [39]; Всеукраїнській науково-практичній конференції «Об'єднання теорії та практики – запорука підвищення боєздатності оперативно-рятувальних підрозділів», Харків, 2013 [40]; Міжнародній конференції «Предупреждение и ликвидация чрезвычайных ситуаций», Мінськ (Білорусь), 2013, 2016 [41, 48]; Міжнародній конференції «Теорія та практика гасіння пожеж та ліквідації НС», Черкаси, 2013 [42]; XI Міжнародній науково-практичній конференції «Пожежна безпека – 2013», Київ, 2013 [43]; Всеукраїнській науково-практичній конференції «Наукове забезпечення діяльності оперативно-рятувальних підрозділів», Харків, 2014, 2015 [44, 45]; Всеукраїнській науково-практичній конференції «Сучасний стан цивільного захисту України та перспективи розвитку», Київ, 2015, 2017 [46, 54]; III Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні ресурсозберігаючі технології. Про-

блеми і перспективи», Одеса, 2015 [47]; Всеукраїнській науково-практичній конференції «Проблеми техногенно-екологічної безпеки: освіта, наука, практика», Харків, 2016 [49]; VII Міжнародній науково-практичній конференції «Актуальные проблемы пожарной безопасности, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций», Кокшетау (Казахстан), 2016 [50]; Міжнародній науково-практичній конференції «Пожежна та техногенна безпека», Львів, 2016 [51]; Міжнародній науково-практичній конференції «Fire Safety Issues», Харків, 2016 [52]; IV Міжнародній науково-практичній конференції «Безпека життєдіяльності на транспорті і виробництві – освіта, наука, практика», Херсон, 2017 [53]; Науково-практичній конференції «Стратегія реформування організації цивільного захисту», Київ, 2018 [55].

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 60 наукових праць: 25 статей у наукових фахових виданнях України (з них 7 статей – у виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз Index Copernicus, Academic Research Index – ResearchBib, Ulrich’s Periodicals Directory, Root Indexing, Ulrich Web, Cite Factor, та 1 статтю – у виданні, яке входить до міжнародної наукометричної бази Scopus); 8 статей – у наукових періодичних виданнях інших держав з напрямку, з якого підготовлено дисертацію; 1 статтю – у закордонному періодичному виданні; 1 одноосібна монографія; 21 теза доповідей на конференціях; 2 патенти на винахід і 2 патенти на корисну модель.

Структура і обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, шести розділів, загальних висновків і додатків. Загальний обсяг дисертації – 391 сторінка, який включає 28 таблиць, 68 ілюстрацій, 3 додатки, список використаних літературних джерел з 484 найменувань вітчизняного та закордонного походження.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ

У вступі обґрунтовано актуальність теми роботи, сформульовано її мету, задачі дослідження, викладено наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, показано особистий внесок здобувача та надано апробацію результатів дисертаційного дослідження.

У першому розділі дисертаційної роботи проведено аналіз існуючих систем та принципів ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру з викидом небезпечних речовин в атмосферу. Найбільш суттєвий внесок у вирішення проблеми ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій зробили такі вчені як: Івлєв Л.С., Сигал І.Я., Кашпаров В.А., Качурин Л.Г., Хргиан А.Х., Rosenfeld D., Shiraiwa M., Greenfield S.M., Fuchs N. та інші.

Серед небезпечних факторів надзвичайних ситуацій найбільш суттєвий вплив на атмосферу чинять забруднення різної фізичної та хімічної природи.

Для вивчення питання осадження забруднення з атмосфери більш важливу роль відіграє фізико-хімічна природа забруднюючих речовин. У цьому випадку всі небезпечні речовини доцільно розділити за агрегатним станом на газоподібні та дисперсні речовини. До окремого класу відносяться кислотні опади, які скла-

дають основну частину рідких забруднюючих аерозолів. Українським науково-дослідним інститутом екологічних проблем регулярно проводиться моніторинг стану атмосфери над територією України. Однак екологічна ситуація в регіоні різко погіршується при виникненні надзвичайних ситуацій (НС) на хімічних підприємствах. Якщо для атмосферних аерозолів є характерним гравітаційне осадження й тому вони починають коалесцирувати практично у момент утворення, то хімічно небезпечні гази як однофазні системи легко поширюються повітряними потоками на значні відстані.

Окремим класом надзвичайних ситуацій є пожежі, які за причиною виникнення поділяються на природні та техногенні. До природних пожеж відносяться пожежі, які охоплюють різні компоненти географічного ландшафту. При цьому випадання опадів над зоною пожежі істотно впливає на інтенсивність горіння.

У разі виникнення великих аварій на об'єктах атомної енергетики можливий викид в атмосферу радіоактивних речовин. Внаслідок аварійної розгерметизації ядерного реактора в атмосферу потрапляє велика кількість газоподібних та аерозольних радіоактивних речовин. Під дією конвективних повітряних потоків радіоактивні речовини потрапляють у верхні шари тропосфери та поширюються на велику відстань. Радіус зони радіоактивного забруднення внаслідок Чорнобильської аварії склав близько 1500 км, при аварії у Фукусімі розміри зони забруднення становлять 150 км.

Існуючі у світі підходи до ліквідації наслідків НС, які характеризуються викидом в атмосферне повітря шкідливих та радіоактивних речовин, ґрунтуються на використанні рідинних завіс за допомогою наземної аварійно-рятувальної техніки. При цьому відбувається осадження шкідливих та радіоактивних речовин із атмосферного повітря дрібнодисперсним потоком води, який утворюють за допомогою засобів аварійно-рятувальної техніки. Такий метод забезпечує зону мінімізації висотою не більше десятків метрів. Однак у разі виникнення НС природного та техногенного характеру зона ураження атмосферного повітря досягає висоти до декількох кілометрів. Комплексного підходу до вирішення проблеми мінімізації наслідків НС для атмосферного повітря на таких висотах на сьогодні не створено.

Останнім часом з розвитком технологій зв'язку та телекомунікацій існує можливість в об'єднанні систем моніторингу декількох держав; таким чином створюється глобальна система моніторингу міжнародного рівня. Дистанційне зондування Землі з використанням штучних супутників забезпечує можливість одержання інформації про екологічний та метеорологічний стан зони забруднення та прилеглої території у глобальному масштабі з високим рівнем просторово-тимчасового розпізнавання.

Однак космічні системи моніторингу володіють рядом істотних недоліків: неможливість знаходження супутника безпосередньо над зоною виникнення надзвичайної ситуації в необхідний проміжок часу, істотний вплив хмарності на результати моніторингу, вузький спектр вимірюваних параметрів і низька точність виміру по висоті над рівнем Землі. Виключити недоліки космічних систем моніторингу дозволяє використання наземних систем моніторингу.

Найбільший потенціал серед засобів моніторингу мають безпілотні літальні апарати (БПЛА). Апарати такого типу можуть використовувати досить широкий спектр контрольно-вимірювального устаткування.

Іншою складовою процесу ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій є прогнозування їх розвитку при різних варіантах зовнішнього впливу. Моделювання процесів опадоутворення базується на термодинамічних закономірностях фазових перетворень. Звичайно водяна пара тропосфери перебуває в метастабільному стані, що визначається зниженою температурою її існування. Одним з родоначальників досліджень кінетики фазових перетворень першого роду (газ-рідина) з метастабільного стану речовини є Вільсон. Подальший розвиток теорії фазових перетворень дозволив покращити розуміння процесів опадоутворення на різних ядрах конденсації.

Перші реальні результати щодо штучного ініціювання опадів було отримано в 20-х роках ХХ сторіччя. Однак найбільший розвиток ці роботи одержали після відкриття американським вченим В. Шефером властивостей твердої вуглекислоти та в 1951 році шведським вченим Б. Воннегатом властивостей йодистого срібла як найбільш активних центрів опадоутворення. КНР – одна з небагатьох країн світу, де активно займаються розробкою методів хімічного впливу на атмосферні процеси. Як і в багатьох інших країнах світу, основний напрямок досліджень у КНР стосується гігроскопічних реагентів.

Проведений аналіз показав, що у розвинених державах світу не створено загального підходу до вирішення проблеми ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій, що призводять до викиду в атмосферу небезпечних речовин. Однак розроблено широкий спектр технічних засобів моніторингу та штучного впливу на атмосферні процеси, як, за умови їх додаткової модифікації, можна використовувати як елементи методів ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру.

Правові основи для створення системи ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій для атмосферного повітря методами штучного опадоутворення в Україні закріплені в законах та інших підзаконних актах, які базуються на міжнародній правовій базі.

У другому розділі дисертаційної роботи розглянуто особливості надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру з викидом небезпечних речовин.

Необхідність створення системи ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій для атмосфери закладено в Кодексі цивільного захисту України. При цьому в Україні така система повинна будуватись у рамках Єдиної державної системи цивільного захисту (ЄДС ЦЗ) на державному рівні та має включати підсистему моніторингу, підсистему підтримки прийняття рішення та підсистему виконання рішення (рис. 1).

На цей час забезпечення цивільного захисту навколишнього атмосферного середовища ґрунтується на двох складових – це моніторинг хімічного складу повітря та локалізація шкідливих речовин у місцях їхнього утворення.

Моніторинг хімічного складу повітря в нижній атмосфері здійснює Державна система моніторингу довкілля, що діє відповідно до постанови Кабінету Міністрів України.

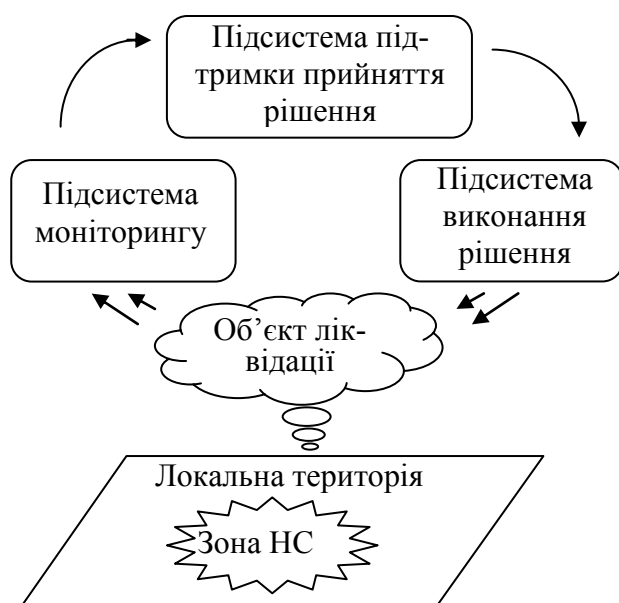


Рис. 1. Загальна структура побудови системи мінімізації наслідків НС у рамках ЄДС ЦЗ

Структура підсистеми моніторингу надзвичайної ситуації складається із трьох рівнів (засоби контролю, обробка отриманої інформації, аналіз отриманої інформації та прогнозування). В підсистемі підтримки прийняття рішення (рис. 1) особа, яка приймає рішення, визначає один або кілька критеріїв, з урахуванням яких здійснюється прогностичне моделювання та формуються управлінські рішення. Затверджене рішення передається в підсистему виконання рішення, де виконується його формалізація та доведення до виконавців.

Ступінь небезпеки будь-якої речовини характеризується співвідношенням концентрації речовини в одиниці об'єму атмосфери до гранично допустимого значення концентрації даної речовини. При виникненні аварій на підприємствах зі значним вмістом небезпечних хімічних речовин (НХР) у зоні викиду відбувається різкий сплеск концентрації тієї або іншої речовини. Серед НХР, що обертуються на підприємствах, запаси таких високонебезпечних речовин як аміак та хлор є найбільшими в Україні.

На базі аналізу стану проблеми розроблено загальний підхід до ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру, що призводить до викиду в атмосферу небезпечних хімічних і радіоактивних речовин.

Розроблений підхід оснований на принципах сорбції падаючими краплями атмосферних опадів забруднюючих хімічних та радіоактивних речовин у газоподібному, рідинному та твердому аерозольних станах. При цьому нижня частина атмосфери, висотою до 5 км, розбивається на дві умовні зони (рис. 2).

До першої зони відноситься безпосередньо зона ураження атмосфери від НС. Суттєвим фактором при осадженні забруднюючих речовин є їх фізичні та хімічні властивості. Вид небезпечних речовин, що потрапляють в атмосферу, залежить від виду НС, які можна розподілити на три класи: техногенні НС з викидом небезпечних хімічних речовин; великі пожежі; НС на об'єктах атомної енергетики.

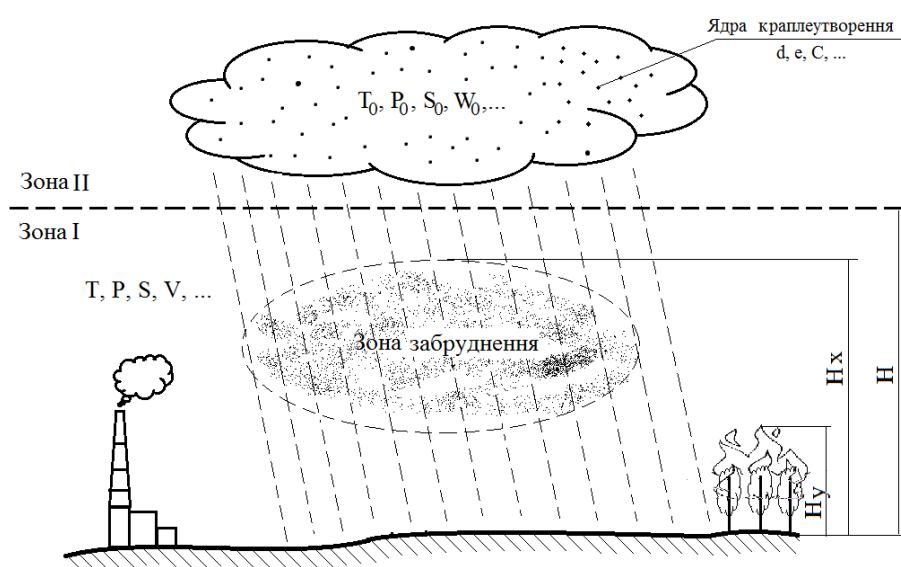


Рис. 2. Схема методу мінімізації наслідків надзвичайних ситуацій для атмосферного повітря

Таблиця 1. Основні негативні фактори для атмосфери при НС різного характеру

Техногенні аварії без пожеж	Масштабні пожежі	Аварії на об'єктах атомної промисловості
Аміак (NH_3)	Сажа (C , CO_x)	Радіоактивний водний аерозоль
Хлор (Cl_2)	Зола (оксиди лужних та лужноземельних металів)	Радіоактивний твердий аерозоль неорганічного пилу
Синильна кислота (HCN)	Оксиди сірки (SO_x)*	Радіоактивні хімічно інертні «гарячі частки»
Фосген (COCl_2)	Оксиди азоту (NO_x)*	

* – призводять до утворення кислотних опадів

Завдяки горизонтальним та вертикальним атмосферним потокам зона ураження швидко поширюється, що зумовлює необхідність оперативного прогнозування зони ураження залежно від швидкості та напрямку вітру. За площею I зона (рис. 2) співпадає з дійсною та прогнозованою зонами ураження та по висоті поширюється від поверхні землі до нижньої границі хмарності.

В I зоні можуть знаходитись хмари хімічного та радіаційного зараження й територія природної пожежі як потужне джерело викиду в атмосферу небезпечних речовин. При прольоті крізь зону I краплі опадів різної інтенсивності частково або повністю випаровуються; сорбують небезпечні речовини, осаджуючи їх на поверхню ґрунту; збільшують вологість повітря та горючої речовини, знижуючи інтенсивність пожежі.

Другою зоною є зона хмарності від нижньої до верхньої границі хмар, потенційно придатних до опадоутворення. Залежно від метеорологічних умов висоти верхньої та нижньої границь зони II можуть змінюватись. В цій зоні відбувається безпосередньо процес опадоутворення, на який впливають метеорологічні умови та властивості природних або штучних ядер краплеутворення.

Потенційно придатними для штучного впливу є хмари нижнього ярусу, се-

За результатами класифікації та систематизації небезпечних речовин, що потрапляють в атмосферне повітря при НС, визначено основні об'єкти осадження для мінімізації негативних наслідків для атмосферного повітря в умовах надзвичайних ситуацій різного характеру (табл. 1).

ред яких найбільшу водність та вологозапас мають шарувато-дощові (Ns) та купчасто-дощові (Cb). Інші види хмар здатні до утворення опадів лише після фази їхньої трансформації в Ns або Cb види.

У **третьому розділі** дисертаційної роботи розроблено організаційно-технічний метод ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру шляхом осадження з атмосфери небезпечних газоподібних та дисперсних речовин. Для розробки методу першочергово було розроблено математичну модель осадження штучно ініційованими атмосферними опадами газоподібних та дисперсних небезпечних речовин, що потрапляють в атмосферу внаслідок природних та техногенних катастроф. Далі розроблено керуючий алгоритм організаційно-технічного методу ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій, який реалізує розроблену математичну модель. Після чого надано опис процедур використання організаційно-технічного методу ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру шляхом осадження з атмосфери небезпечних газоподібних та дисперсних речовин.

В реальній атмосфері початкові краплі утворюються на рідких і твердих ядрах конденсації, в якості яких можуть виступати як розчинні у воді солі (насамперед NaCl), так і нерозчинні частинки сажі, пилу та ін. Істотний внесок у процес конденсації робить наявність електричного заряду q на ядрі краплеутворення. Результати розрахунків критичного ступеня пересичення для конденсації на різних ядрах краплеутворення показали (табл. 2), що найбільшою здатністю до краплеутворення (найменший ступінь пересичення) мають заряджені краплі розчинів солей (п.п. 4, 5 табл. 2).

Таблиця 2 Критичний ступінь пересичення водяної пари ($S_{кр}$) для краплин на різних ядрах конденсації

	Вид ядра	$S_{кр}$
1	Гомогенна конденсація	5,47
2	Водяні краплі ($r > r_{кр}$)	1,00
3	Крапля води із зарядом 10^{-16} Кл	0,63
4	Краплі 10 %-го розчину NaCl	0,74
5	Крапля 10 %-го розчину NaCl із зарядом 10^{-16} Кл	0,43
6	Частинка пилу SiO_2	0,81
7	Сажа	0,95
8	Сажа із зарядом 10^{-16} Кл	0,82
9	Одиничний іон (O_2^+)	1,75

Заряд крапель дозволяє знизити критичний ступінь пересичення в 1,3–2 рази порівняно з незарядженими частинками. Отримані результати у подальшому було використано при розробці нових методів інтенсифікації опадів та прогнозуванні цього процесу. Низька краплеутворююча здатність у сажі пояснюється більшою гідрофобністю сажі порівняно з SiO_2 .

З метою підвищення ефективності штучного впливу на атмосферні процеси удосконалено метод хімічного впливу на процеси опадоутворення та розроблено нові піротехнічні сполуки цільового призначення для нейтралізації дії небезпечних речовин у зоні ураження. Обґрунтовано, що використання піропатронів дозволяє виключити застосування додаткового обладнання з диспергування робо-

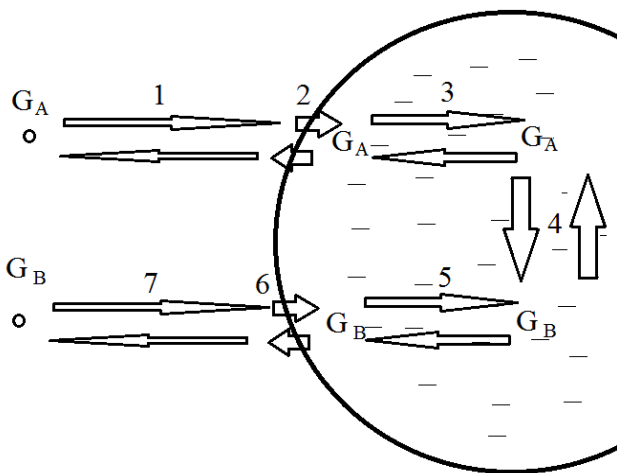
чих сумішей та одержати більш дисперсні частинки реагенту. Такі властивості генераторів активного реагенту дозволяють використовувати в якості засобів доставки малогабаритні безпілотні літальні апарати, що істотно знижує економічні витрати. Для реагенту у вигляді твердотілого піропатрона істотно збільшується термін зберігання та відсутня необхідність запобігання злежуваності реагенту.

Після зростання крапель на активних ядрах краплеутворення до критичного розміру (~ 1 мм) вони випадають із зони хмарності та під час прольоту крізь зону ураження від НС сорбують небезпечні речовини. Для вирішення задачі прогнозування інтенсивності сорбції нами запропоновано модифікований та уточнений варіант моделі поетапної абсорбції газів. Схематично етапи сорбції представлені на рис. 3. Зміст етапів:

1. Транспортування молекул газу (G_A) до поверхні краплі за рахунок дифузії в газовій фазі;

2. Поглинання молекул газу поверхнею краплі й досягнення рівноваги в локальній області поверхні розділу за рахунок десорбції газу;

3. Транспортування поглинених молекул газу (G_A) в об'єм краплі за рахунок дифузії в рідині;



4. Хімічні реакції поглиненого газу (G_A) та води в об'ємі краплі з утворенням продуктів реакції (G_B);

5. Транспортування продуктів реакції (G_B) в об'ємі краплі;

6. Досягнення рівноваги в локальному об'ємі поверхні краплі за рахунок адсорбції-десорбції продуктів хімічної реакції;

7. Транспортування молекул продуктів (G_B) від поверхні краплі в газову фазу за рахунок дифузії.

Рис. 3. Схема етапів абсорбції хімічно небезпечних газів краплями атмосферних аерозолів

Швидкість поглинання хімічно небезпечного газу атмосферним аерозолем визначається різницею швидкостей процесу десорбції V_{des} та абсорбції V_{abs} :

$$\frac{dC_g}{d\tau} = V_{des} - V_{abs}, \quad (1)$$

де C_g – концентрація газу в атмосфері; τ – час.

Відповідно до етапів 1-7 математичний вираз для швидкості абсорбції має наступний вигляд:

$$V_{abs} = V_{col} \cdot \alpha \cdot K_{dif} \quad \text{або} \quad V_{abs} = V_{col} \cdot \alpha \cdot K_r, \quad (2)$$

де V_{col} – швидкість взаємодії молекул газу із краплями води; α – коефіцієнт, що враховує ймовірність поглинання молекул газу поверхнею крапель (коефіцієнт акомодациї); K_{dif} – коефіцієнт, що враховує швидкість дифузії газу всередині краплі. При протіканні хімічної реакції абсорбованого газу в об'ємі краплі коефіцієнт K_{dif} замінюється на K_r – коефіцієнт, що враховує дифузію молекул газу у краплі та швидкість хімічної реакції газу з рідиною.

Модифікована модель сорбції небезпечних газів потребує меншої кількості вхідних параметрів, що є суттєвою перевагою при оперативному прогнозуванні наслідків НС.

Процес вимивання дисперсних частинок опадами проходить за механізмом гравітаційної коагуляції. На характер взаємодії дисперсних частинок істотно впливає їх розмір. Характеристичним параметром оцінки розміру часток є число Кнудсена (Kn). Частинки з розміром $d \approx 0,1$ мкм ($Kn \gg 1$) характеризуються активним броунівським рухом і практичною відсутністю процесу седиментації.

$$-\left(\frac{dC_p}{d\tau}\right) = K_{Br} C_d C_p, \quad (3)$$

де C_p – концентрація дисперсних часток у момент часу τ ; C_d – концентрація дощових крапель; K_{Br} – константа швидкості броунівської коагуляції.

При розмірах крапель більше 1 мкм ($Kn \rightarrow 0$) зіштовхування дисперсних частинок з молекулами газів не справляють істотного впливу на рух частинок, і вони переміщуються у просторі під дією повітряних потоків. При цьому процес сорбції небезпечних речовин протікає за механізмом, показаним на рис. 4.

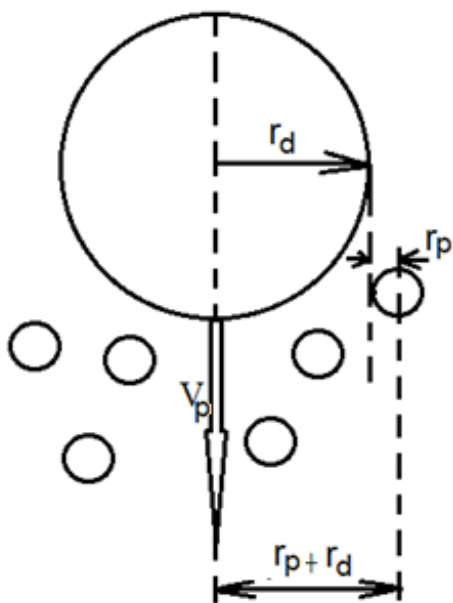


Рис. 4. Схема захоплення дисперсних частинок краплями опадів при гравітаційній коагуляції

Сутність механізму гравітаційної коагуляції полягає у захопленні великою краплею дощу при падінні дрібних дисперсних часток. Дрібні аерозольні частки з радіусом r_p і концентрацією C_p під дією повітряних потоків витають у повітрі ($V_0 \approx 0$). Під дією сил тяжіння краплі опадів розміром r_d рухаються вниз із деякою швидкістю V_d . При падінні великої краплі її обтікає потік повітря, що захоплює за собою дрібні аерозольні частки. Однак оскільки аерозольні частки володіють відмінною від нуля масою, на них діють інерційні сили, що прагнуть зберегти прямолінійну траєкторію. Імовірність зіткнення великої краплі із дрібною (коефіцієнт захоплення K_g) залежить від їх взаємних розмірів, в'язкості середовища (η) та швидкості руху (рис. 4).

$$-\left(\frac{dC_p}{d\tau}\right) = C_d \frac{\pi}{4} \int_0^R K_g \cdot (r_p + r_d)^2 \cdot V_d \cdot C_p dr_p. \quad (4)$$

де r_p – радіус аерозольних часток; r_d , V_d – радіус крапель опадів та їх швидкість падіння; K_g – коефіцієнт захоплення часток краплями.

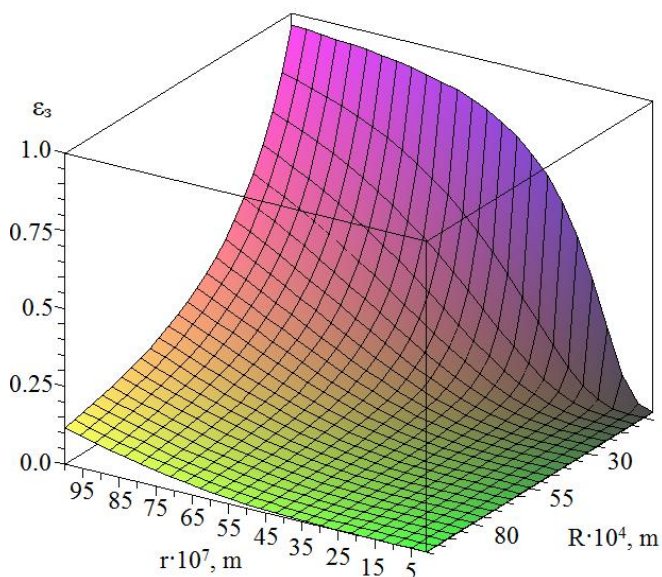


Рис. 5. Залежність ефективності вимивання (ϵ_3) від розмірів крапель опадів (R) і аерозольних частинок (r)

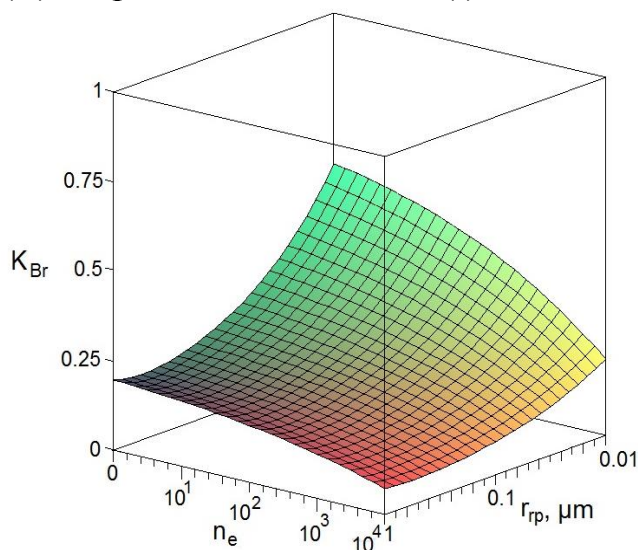


Рис. 6. Вплив заряду радіоактивної частки (n_e) та розмірів радіоактивної частки (r_p) на інтенсивність броунівської коагуляції (K_{Br}) при $r_d = 1$ мм, $Kn \rightarrow \infty$

На основі моделей (3) – (4) та встановлених фізико-хімічних властивостей аерозольних продуктів горіння проведено прогнозування інтенсивності їх вимивання опадами (рис. 5).

Встановлено, що наявність у дисперсних радіоактивних частинок електричного заряду може суттєво інтенсифікувати процес сорбції радіонуклідів краплями дощу (рис. 6, 7). Аналіз розчинності та гідروفобних властивостей радіоактивних частинок дозволяє спрогнозувати поведінку частинки після її захоплення краплею дощу.

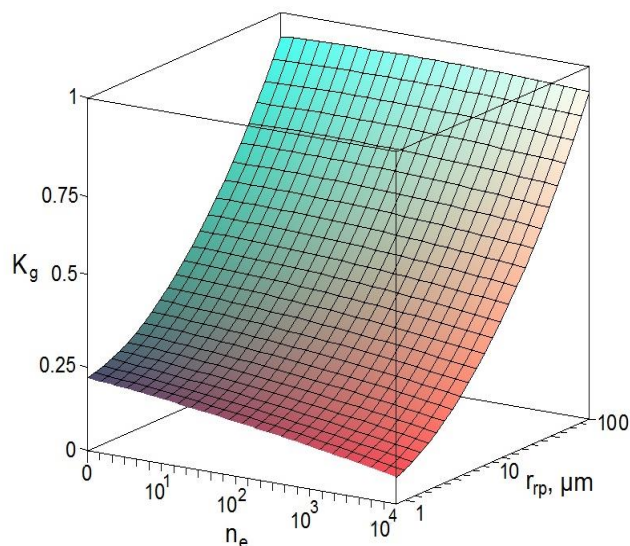


Рис. 7. Вплив заряду радіоактивної частки (n_e) та її розмірів (r_p) на інтенсивність гравітаційної коагуляції при $r_d = 1$ мм, $Kn \rightarrow 0$

Аналіз даних з рис. 6, 7 показав, що найменша інтенсивність очищення атмосфери реєструється для радіоактивних частинок із розміром у діапазонах 0,1–1,0 мкм і 1,0–10,0 мкм відповідно. Це пов'язано з тим, що при таких розмірах те-

плова дифузія вже не справляє істотного впливу, опір повітря зростає; при цьому інерційних сил таких частинок недостатньо для подолання повітряного потоку, що омиває падаючу краплю дощу. У зв'язку з цим частки таких розмірів обтікають дощову краплю, не контактуючи з нею. Природно, що підвищення ефективності вимивання збільшується зі зростанням інтенсивності опадів. При цьому спостерігається особливість: інтенсивність вимивання збільшується зі зростанням дисперсності потоку за однакової інтенсивності опадів, що пояснюється збільшенням вільної поверхні краплі та меншою швидкістю обтікаючого повітряного потоку, що призводить до зменшення відштовхування радіоактивних часток, які перебувають на траєкторії польоту краплі.

У кінцевому вигляді розроблена математична модель осадження штучно ініційованими атмосферними опадами газоподібних та дисперсних небезпечних хімічних і радіоактивних речовин, що викидаються в атмосферу внаслідок НС природного та техногенного характеру, являє собою систему з чотирьох залежностей:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dC_g}{d\tau} &= V_{des} - V_{abs} \\ V_{des} - V_{abs} &= f_1(K_{chem}, K_{met}, K_{in}) \\ -\left(\frac{dC_p}{d\tau}\right) &= K_{Br} C_p C_d \quad \text{при } r_p \ll 0,1 \text{ мкм} \\ -\left(\frac{dC_p}{d\tau}\right) &= C_d \frac{\pi}{4} \int_0^R K_g \cdot (r_p + r_d)^2 \cdot V_d \cdot C_p dr_p \quad \text{при } r_p \gg 0,1 \text{ мкм} \end{aligned} \right\} \cdot \quad (5)$$

Перша залежність описує процес осадження газоподібних небезпечних речовин, що викидаються унаслідок надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру. Друга залежність описує вплив на процес осадження газоподібних небезпечних речовин хімічних властивостей небезпечного газу (K_{chem}), метеорологічних умов протікання процесу осадження (K_{met}) та характеристик опадів, які, у свою чергу, визначаються способами штучного ініціювання опадів (K_{in}). Третя й четверта залежності описують процес осадження дисперсних небезпечних речовин у широкому діапазоні розмірів, що утворюються при надзвичайних ситуаціях природного та техногенного характеру, залежно від обраного керуючого впливу на атмосферні процеси. Отримана модель дозволяє визначити швидкість осадження газоподібних та дисперсних небезпечних речовин, що викидаються в атмосферу при надзвичайних ситуаціях природного та техногенного характеру.

Схему керуючого алгоритму організаційно-технічного методу ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру шляхом осадження з атмосфери небезпечних газоподібних та дисперсних речовин представлено на рис. 8. Він складається із 14 блоків, розміщених на трьох ієрархічних рівнях, пов'язаних прямими та зворотними зв'язками.

Використання даного методу передбачає виконання наступних процедур:

1. Отримання моніторингової інформації;
2. Розрахунок часу вільного поширення зони ураження в атмосфері;
3. Визначення розмірів прогнозованої зони атмосферного ураження;
4. Проведення оцінки належності площі НС області допустимих рішень;
5. Залучення сил та засобів для ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій.

Активні дії з виконання керівного рішення із впливом на атмосферні процеси замикають контур управління.

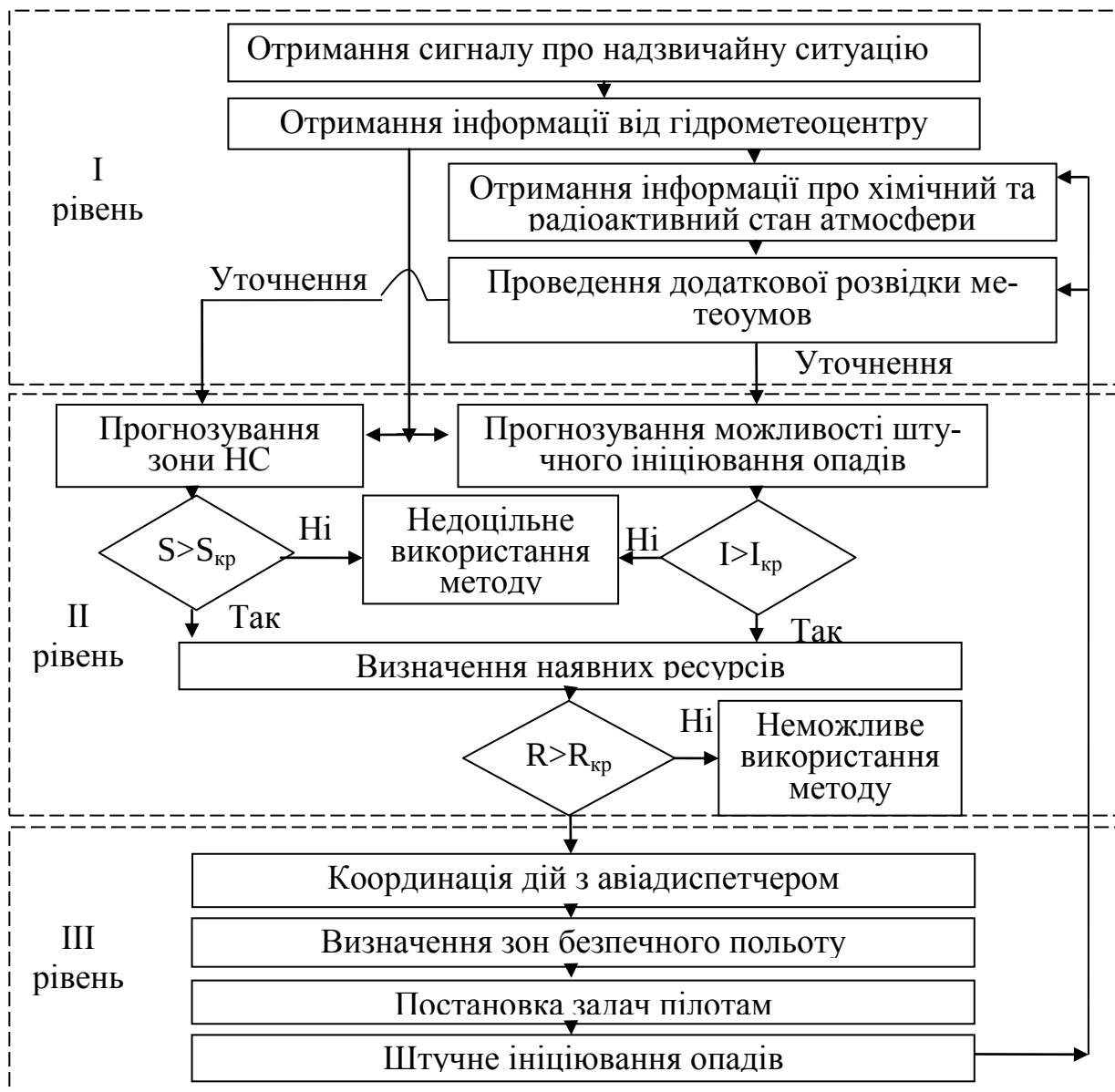


Рис. 8. Керуючий алгоритм реалізації організаційно-технічного методу ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру шляхом осадження з атмосфери небезпечних газоподібних та дисперсних речовин

З використанням розроблених у роботі теоретичних основ прогнозування динаміки осадження з атмосфери хімічно небезпечних речовин доповнені існуючі методики прогнозування зон хімічного та радіаційного забруднення, що дозво-

лить збільшити оперативність та розширити умови прогнозування зон атмосферного забруднення при випаданні опадів. Наявність опадів над зоною забруднення із глибиною Γ враховується шляхом введення поправочного коефіцієнта k :

$$\Gamma_{\text{опадів}} = k \cdot \Gamma. \quad (6)$$

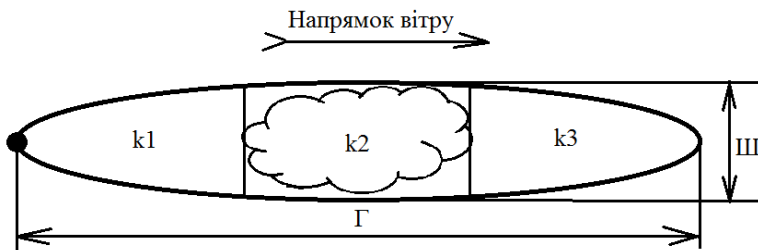


Рис. 9. Схема області забруднення за зонами випадання опадів: k_i – поправочні коефіцієнти для конкретної зони випадання опадів

Оскільки опади можуть випадати не над всією зоною НС, то її запропоновано розбити на три ділянки (рис. 9), а k розраховувати згідно (7).

$$k = \frac{k_1 + k_2 + k_3}{3}. \quad (7)$$

У **четвертому розділі** дисертаційної роботи розроблено організаційно-технічний метод ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру шляхом локалізації осередків інтенсивного горіння. Для розробки методу першочергово було розроблено математичну модель процесу локалізації та ліквідації осередків природних та техногенних катастроф з інтенсивним горінням штучно ініційованими опадами.

Інтенсивність випадання опадів визначається швидкістю утворення і росту крапель у хмарі, яка, у свою чергу, залежить від потоку водяної пари J до поверхні краплі (рис. 10):

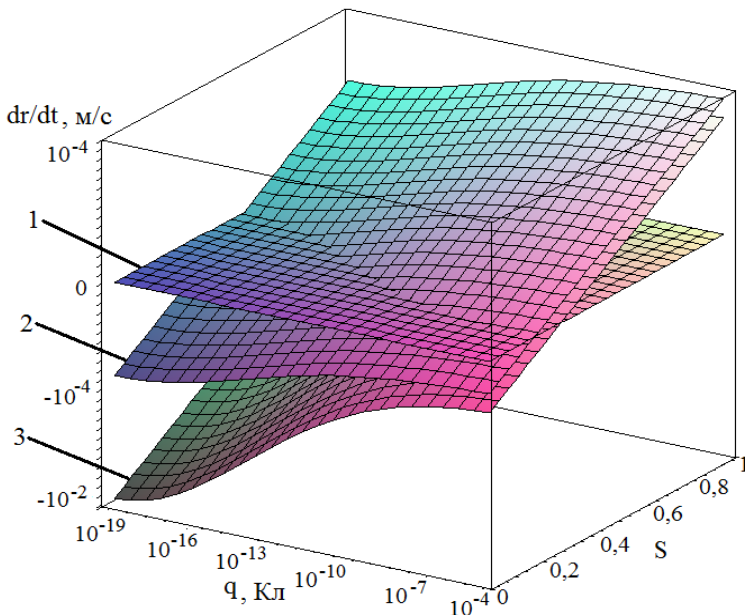


Рис. 10. Вплив заряду ядер конденсації (q) і вологості повітря (S) на швидкість росту крапель: 1 – $J=0$ кг·с⁻¹; 2 – тверді частинки пилу ($r=10^{-5}$ м); 3 – водяні краплі ($r=10^{-5}$ м)

$$J = - \frac{4\pi \cdot D \cdot M \cdot r \cdot E_{\infty}}{k \cdot N_A \cdot T_{\infty}} [S_{\text{кр}} - S], \quad (8)$$

де r – радіус краплі (ядро конденсації), на яку конденсується пара; M – молярна маса води; k – постійна Больцмана; N_A – число Авогадро; D – коефіцієнт молекулярної дифузії водяної пари в повітрі; S – пересичення повітря на досить великій відстані; $S_{\text{кр}}$ – критичне пересичення повітря, при якому відбувається конденсація; E_{∞} – тиск насичення водяної пари на досить великій відстані; T_{∞} – температура пари на достатньо великій відстані.

Побудована графічна залежність швидкості росту краплі для різної вологості повітря і заряду ядер (рис. 10) свідчить, що існує мінімальна вологість повітря, за якої наявність будь-якого заряду ядра не призводить до краплеутворення. Встановлено, що для твердої частинки залежність швидкості осадження вологи від заряду ядра проявляється більш істотно. За малого значення заряду ядра швидкість осадження для твердої частинки більш ніж у 3 рази менша в порівнянні з водяною краплею.

Теоретично встановлено, що при великих зарядах ядра швидкості осадження на різних поверхнях практично співпадають, що говорить про домінуючий вплив електростатичного поля на конденсацію вологи.

Крім фізико-хімічних властивостей ядер конденсації, визначальною є їх концентрація (рис. 11).

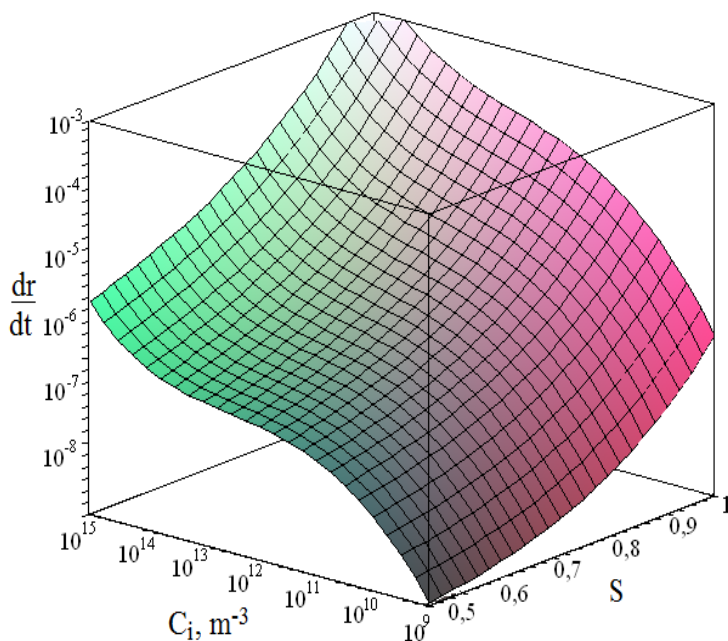


Рис. 11. Залежність швидкості краплеутворення від вологості повітря і концентрації іонів

Встановлено, що кластер води, який здатен утворитися на одному іоні, може складати до $N_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{кластер}} \approx 3,8 \cdot 10^9$ молекул води. Враховуючи, що концентрація кластерів відповідає концентрації іонів ($C_i = C_{\text{кластер}}$), необхідна концентрація іонів для поглинання максимально можливої кількості вологи в одиничному об'ємі залежить від вологості й визначається як

$$C_i^{\text{необх.}} = \frac{f_T^{\text{max}} \cdot N_A}{M \cdot N_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{кластер}}} \cdot (S - S_{\text{кр}}), \quad (9)$$

де f_T^{max} – максимальна абсолютна вологість за температури T .

З аналізу випливає, що збільшення концентрації іонів вище 10^{11} м^{-3} не є доцільним, оскільки не призводить до суттєвого збільшення інтенсивності опадів.

За концентрації іонів, менше необхідної ($C_i < C_i^{\text{необх.}}$), крім кластерів на іонах в об'ємі атмосфери наявні вільні молекули води, які можуть конденсуватися на поверхні кластера. Даний варіант є характерним при впливі на вже сформовані хмари. У випадку, коли $C_i = C_i^{\text{необх.}}$, за рахунок утворення кластера вологість падає до критичного значення. За таких умов вільні молекули, що залишилися, не здатні конденсуватися на кластерах, тому краплеутворення відбувається тільки за рахунок коагуляції кластерів і визначається початковою кількістю кластерів та інтенсивністю їхньої коагуляції. Якщо за зниження вологості до крити-

чного значення на деяких іонах встигають сформуватися повноцінні кластери, але в атмосфері наявні додаткові вільні іони ($C_i > C_i^{\text{необх.}}$), то ці іони будуть осідати на поверхні сформованих кластерів, передаючи їм свій заряд.

Результати моделювання показують, що найбільш активними центрами краплеутворення в атмосфері є заряджені частки (іони). Крім штучного введення заряджених ядер конденсації за допомогою хімічних реагентів, існують різні електрофізичні методи штучної іонізації компонентів повітря. Перспективним методом штучної іонізації повітря є вплив на локальний об'єм потужного електромагнітного випромінювання. Сутність даного методу полягає у тому, що іонізація повітря відбувається за рахунок передавання вільним молекулам та електронам у зоні впливу енергії електромагнітного випромінювання від наземних джерел. Перевагою даного способу є можливість створювати додаткові іони на значному віддаленні від випромінювача.

Для встановлення впливу атмосферних опадів на інтенсивність викиду продуктів горіння визначені критичні значення вологості горючого рослинного матеріалу та вологості повітря, за яких горіння є неможливим. Умовою гасіння природної пожежі є не тільки припинення полум'яного горіння, а і зниження температури поверхні горючого матеріалу нижче температури піролізу ($< 200^\circ\text{C}$).

Кількість тепла, що відводиться опадами з одиниці площі горіння, становить:

$$Q_{\text{відв.}} = [c_{\text{рв}}(T_{\text{кип.}} - T_0) + H_{\text{вип.}} + c_{\text{рп}}(T_{\text{пол.}} - T_{\text{кип.}})] \cdot I \cdot \tau_{\text{т}}, \quad (10)$$

де $c_{\text{рв}}$ – питома масова ізобарна теплоємність води; $c_{\text{рп}}$ – питома масова ізобарна теплоємність пари; $T_{\text{кип.}}$ – температури кипіння води; $H_{\text{вип.}}$ – втрати тепла на випаровування води; $T_{\text{пол.}}$ – температури полум'я; I – інтенсивність надходження води в зону горіння (інтенсивність опадів).

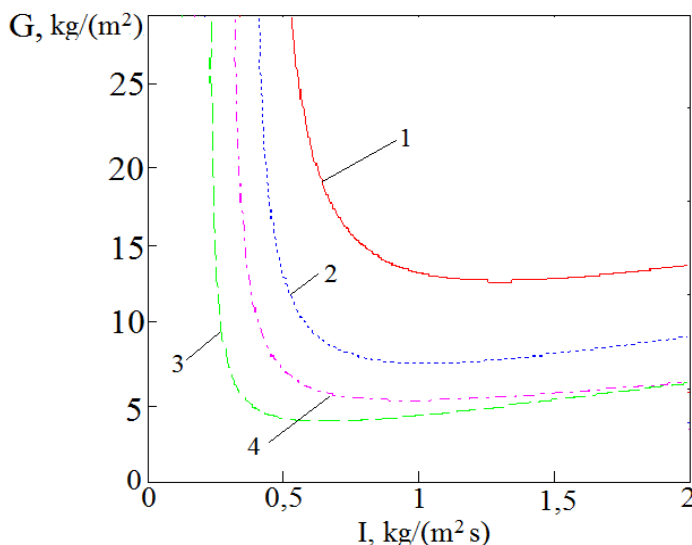


Рис. 12. Залежності витрат води G на гасіння різних класів природних пожеж: 1 – лісові верхові; 2 – лісові низові; 3 – торф'яні; 4 – степові

Розрахунковим шляхом встановлені критичні параметри опадів, які здатні впливати на процеси горіння (рис. 12).

Порівняльний аналіз даних (рис. 12) і основних параметрів опадів (табл. 3) показали, що за інтенсивністю тільки зливові дощі відповідають оптимальній інтенсивності для гасіння верхових і низових лісових пожеж. При цьому інтенсивність мряки є недостатньою для гасіння всіх видів природних пожеж.

Таблиця 3. Характеристики атмосферних опадів

Види опадів	Інтенсивність, $\text{кг} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$	Вологозапас, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2}$	Середній діаметр крапель, мм
Мряка	0,05–0,1	50–90	0,2–0,3
Обложні	0,3–0,6	60–100	0,3–0,7
Зливові	1,2–1,5	30–70	0,7–1

Для повноти розглядання поставленого завдання враховано процес виносу крапель із зони горіння потужними конвективними потоками, які істотно впливають при великих природних пожежах. Використовуючи дані щодо дисперсності опадів і середньої інтенсивності конвективних потоків, отримуємо порівняльну діаграму (рис. 13).



Рис. 13. Порівняльна діаграма швидкості витання крапель при різних опадах та швидкості вертикальних конвективних потоків (прямі): 1 – лісові верхові пожежі; 2 – лісові низові пожежі; 3 – степові пожежі; 4 – торф'яні пожежі

Критичною швидкістю є швидкість витання:

$$W_{\text{вит.}} = \sqrt{\frac{4gd_k(\rho_k - \rho_r)}{3\rho_r C_x}}, \quad (11)$$

де g – прискорення вільного падіння; d_k – діаметр краплі; ρ_k – густина краплі води; ρ_r – густина повітря; C_x – коефіцієнт лобового опору (при $2 \cdot 10^5 > Re > 500$ $C_x = 0,44$; при $500 > Re > 2$ $C_x = 18,5 \cdot Re^{-0,6}$).

Отримані результати показують, що завдяки знесенню крапель конвективними потоками вплив атмосферних опадів на інтенсивність викиду продуктів горіння може реалізуватися лише шляхом локалізації зони горіння при зволоженні горючого матеріалу по периметру зони НС.

Для визначення впливу атмосферних опадів на інтенсивність викиду в атмосферне повітря продуктів горіння розроблено математичну модель випаровування краплі дощу при падінні в атмосфері.

У цій моделі вирішується задача взаємного впливу дощу та повітря у випадку двох змінних: просторової вертикальної координати z та часу τ . Шуканими нестационарними полями є: швидкість падіння $w_d(z, \tau)$, радіус $r_d(z, \tau)$, абсолютна температура $T_d(z, \tau)$ та щільність числа крапель $n(z, \tau)$, а також концентрація водяної пари в повітрі $\rho_s(z, \tau)$ та його абсолютна температура $T_a(z, \tau)$.

Модель складається із системи трьох рівнянь:

1. Рівняння руху падаючої краплі:

$$\frac{dw_d}{d\tau} = g - \frac{w_d - w_a}{m_d} \cdot \rho_a \cdot \left[6 \cdot \pi \cdot r_d \cdot v_a + \frac{C_f}{2} \cdot \pi \cdot r_d^2 \cdot |w_d - w_a| \right], \quad (12)$$

де w_d , w_a – швидкість краплі та повітря; ρ_a – густина повітря; v_a – коефіцієнт кінематичної в'язкості повітря; g – прискорення вільного падіння; C_f – коефіцієнт форми (для крапель сферичної форми $C_f = 0,47$); $m_d = \rho_w \cdot \frac{4 \cdot \pi}{3} \cdot r_d^3$ – маса краплі,

де ρ_w – вважається постійною густини води.

2. Рівняння балансу маси води у краплі:

$$-J_s = 4 \cdot \pi \cdot r_d^2 \cdot \rho_w \cdot \frac{dr_d}{d\tau}. \quad (13)$$

3. Рівняння, що задає швидкість зміни температури краплі:

$$m_d \cdot c_{p,w} \cdot \frac{dT_d}{d\tau} = J_s \cdot \left[-\Delta h + \frac{c_{p,s} \cdot (T_a - T_d)}{\exp(B) - 1} \right], \quad (14)$$

де $\Delta h \equiv h_s(T_d) - h_w(T_d)$ – питома теплота пароутворення; $h_s(T)$ та $h_w(T)$ – питома масова ентальпія утворення пари та води в рідкій фазі; $c_{p,w}$ – питома масова ізобарна теплоємність води; B – характеристичний параметр, що визначається з урахуванням критерію Нуссельта.

Отримані моделі (12) – (14) дозволяють спрогнозувати динаміку зміни вологості атмосферного повітря (рис. 14) та горючого матеріалу (рис. 15) за різних метеоумов та параметрів НС.

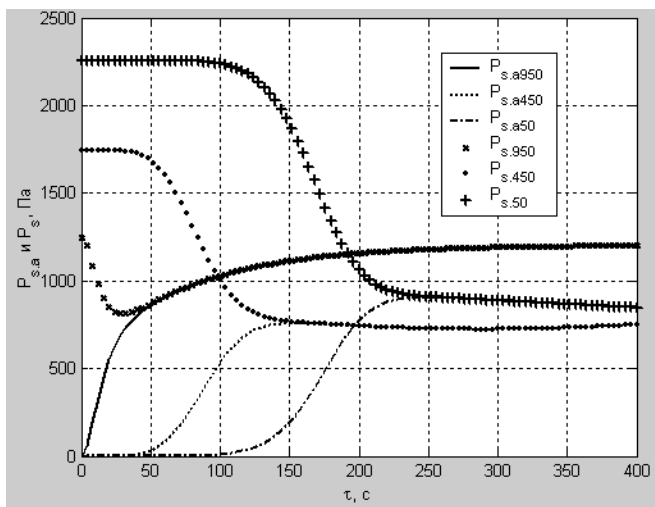


Рис. 14. Швидкість зміни вологості атмосферного повітря на різних висотах

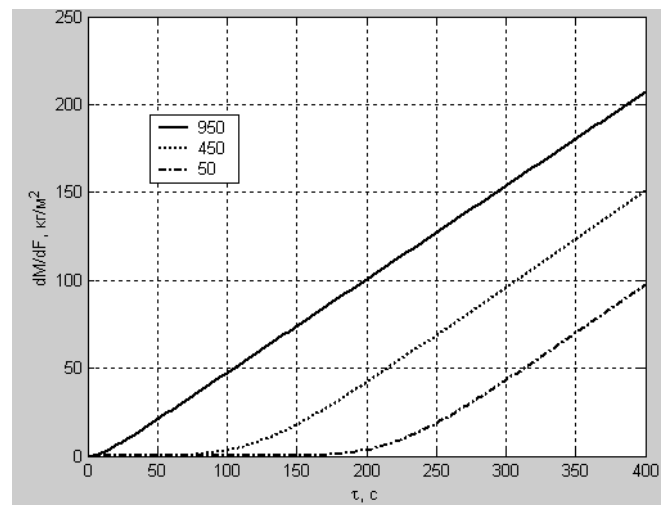


Рис. 15. Кількість води, що потрапляє на поверхню горючого матеріалу

Представлені вище результати досліджень є базою для прогнозування динаміки зони ураження від надзвичайної ситуації під впливом штучно ініційованих опадів.

У кінцевому вигляді розроблена математична модель процесу локалізації та ліквідації штучно ініційованими опадами осередків природних та техногенних катастроф з інтенсивним горінням являє собою систему з п'яти залежностей:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dw_d}{d\tau} &= g - \frac{w_d - w_a}{m_d} \cdot \rho_a \cdot \left[6 \cdot \pi \cdot r_d \cdot v_a + \frac{C_f}{2} \cdot \pi \cdot r_d^2 \cdot |w_d - w_a| \right] \\ 4 \cdot \pi \cdot r_d^2 \cdot \rho_w \cdot \frac{dr_d}{d\tau} &= -J_s \\ m_d \cdot c_{p.w} \cdot \frac{dT_d}{d\tau} &= J_s \cdot \left[-\Delta h + \frac{c_{p.s} \cdot (T_a - T_d)}{\exp(B) - 1} \right] \\ Q_{\text{відв.}} &= [c_{p_b} (T_{\text{кип.}} - T_0) + H_{\text{вып.}} + c_{p_n} (T_{\text{пл.}} - T_{\text{кип.}})] \cdot I \cdot \tau_T \\ W_{\text{вит.}} &= \sqrt{\frac{4gd_k (\rho_k - \rho_r)}{3\rho_r C_x}} \end{aligned} \right\}. \quad (15)$$

Перша залежність моделі (15) описує рух падаючої краплі опадів над осередком надзвичайної ситуації. Друга і третя залежності описують масовий та тепловий баланс краплі в осередку горіння. Четверта залежність описує процес поглинання тепла атмосферними опадами від осередку горіння залежно від управлінського впливу на атмосферні процеси. П'ята залежність визначає граничну умову, коли ліквідація осередку інтенсивного горіння є неможливою та відбувається лише його локалізація.

Схема керуючого алгоритму організаційно-технічного методу ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру шляхом локалізації осередків інтенсивного горіння представлена на рис. 16. Керуючий алгоритм складається із 21 блоку, розміщених на трьох ієрархічних рівнях, пов'язаних прямими та зворотними зв'язками.

Збір географічних та геометричних даних про зону горіння здійснюється опираючись на дані оперативної розвідки та супутникового контролю. Збір метеорологічних показників здійснюється на основі офіційних даних державних та регіональних органів гідрометеоцентрів. Збір параметрів зони хмарності здійснюється шляхом використання метеозондів та БПЛА з відповідним апаратним забезпеченням. За результатами визначення площі осередку горіння та прогнозування його розвитку відбувається оцінка доцільності використання розробленого організаційно-технічного методу. Визначення способу доставки реагенту проводиться з урахуванням забезпечення безпеки польотів над зоною надзвичайної ситуації.

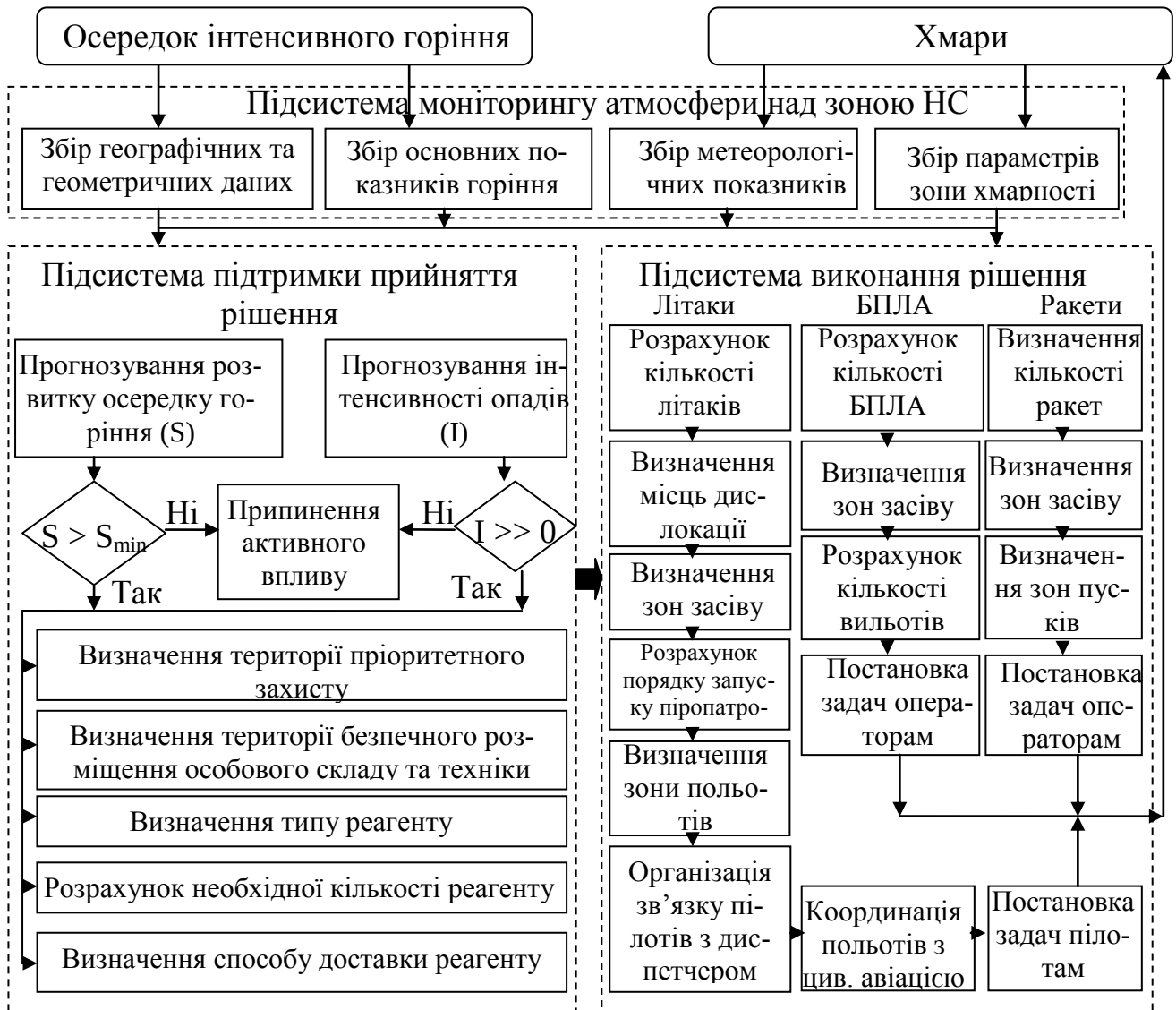


Рис. 16. Керуючий алгоритм реалізації організаційно-технічного методу ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру шляхом локалізації осередків інтенсивного горіння

Використання даного методу передбачає виконання наступних процедур:

1. Обробка та систематизація моніторингових даних;
2. Прогнозування розвитку осередку горіння та інтенсивності опадів;
3. Постановка конкретних задач виконавцям;
4. Безпосередній вплив на атмосферні процеси.

Відповідно до розробленого організаційно-технічного методу, для автоматизації підсистеми підтримки прийняття управлінського рішення оперативними співробітниками, які задіяні на ліквідації наслідків НС, створено автоматизоване робоче місце (АРМ) у вигляді програмного продукту «ПРОГНОЗУВАННЯ АТМОСФЕРНИХ ОПАДІВ» (рис. 17), що дозволить оперативно узагальнити моніторингову інформацію та проводити прогнозування розвитку подій у разі прийняття тих чи інших рішень.

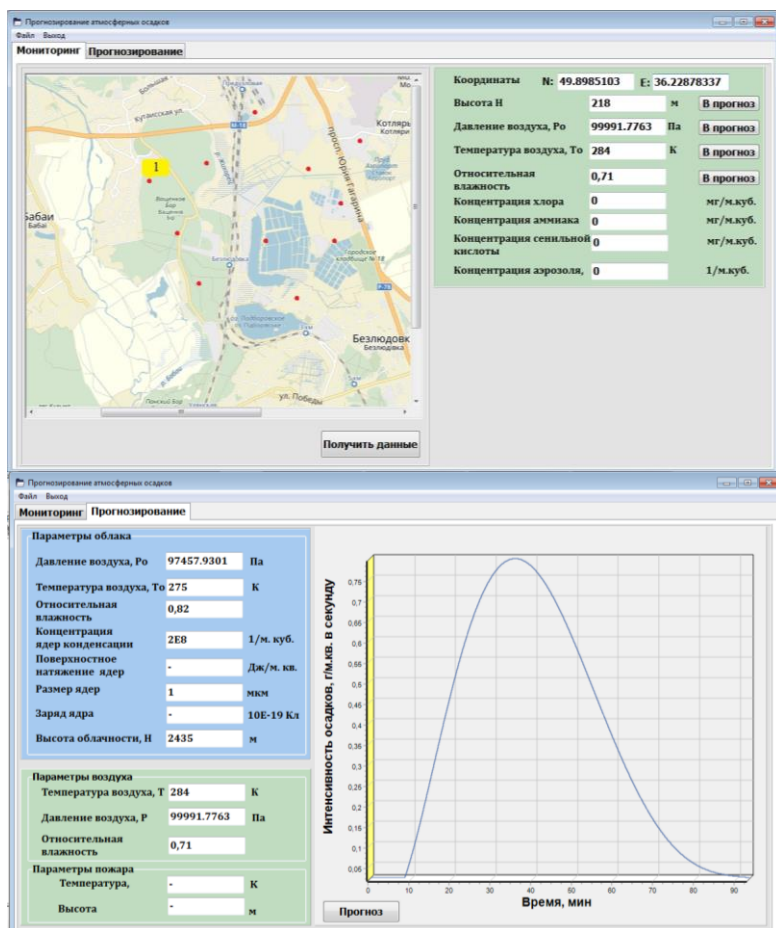


Рис. 17. Вкладки: «МОНІТОРИНГ» та «ПРОГНОЗУВАННЯ» інтерфейсу АРМ

Основним завданням, яке дозволяє вирішити АРМ, є визначення можливості та ефективного використання того чи іншого методу штучного опадоутворення для очищення атмосферного повітря від конкретної забруднюючої речовини за зазначених метеорологічних умов.

Інтерфейс програми складається із двох розділів (вкладок) – «МОНІТОРИНГ» та «ПРОГНОЗУВАННЯ». Вкладка «МОНІТОРИНГ» (рис. 17) створена для зручної обробки інформації, отриманої в результаті моніторингу зони забруднення та метеорологічної обстановки. Друга вкладка «ПРОГНОЗУВАННЯ» складається з області введення вихідних параметрів розрахунку та виводу отриманих даних.

У п'ятому розділі дисертаційної роботи проведено перевірку достовірності розроблених організаційно-технічних методів ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій, що призводять до викиду в атмосферу небезпечних речовин. Для цього першочергово описані лабораторні установки для дослідження процесів горіння та осадження газоподібних та дисперсних речовин і описані методики проведення експериментів з їх використанням. Після цього проаналізовані результати виконаних лабораторних експериментів з перевірки достовірності розроблених математичних моделей та організаційно-технічних методів ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру.

Для дослідження процесів осадження газоподібних, рідких та твердих дисперсних речовин (включаючи дими) водними аерозолями різної інтенсивності та дисперсності, що імітують атмосферні опади, розроблено та створено лабораторну експериментальну установку, схему якої представлено на рис. 18. Використання запропонованої камери для дослідження процесів масообміну дозволяє моделювати умови контакту атмосферних твердих та рідких аерозолів і газів (парів) за різних фізико-хімічних умов процесу, проводити лабораторні експериментальні дослідження процесів адсорбції, абсорбції та десорбції газів (парів), пилу та продуктів горіння рідкими аерозолями, а також моделювати процеси атмосферного очищення повітря опадами.

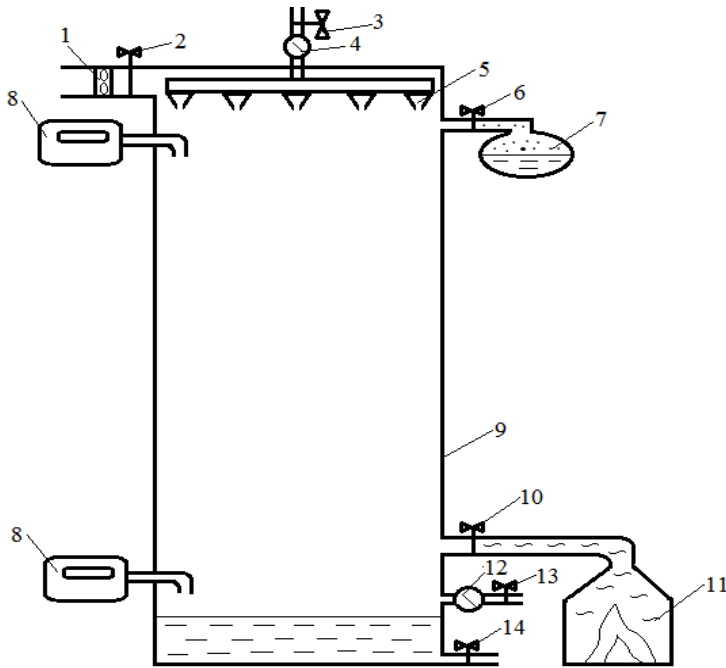


Рис. 18. Схема експериментальної установки для дослідження процесів масообміну в атмосфері: 1 – вентилятор; 2, 6, 10, 13 – газопідведення; 3, 14 – рідинні запірні крани; 4 – рідинний витратомір; 5 – форсунки; 7 – ультразвуковий диспергатор; 8 – газоаналізatori; 9 – корпус; 11 – відсік для горіння; 12 – газовий витратомір

Результати досліджень з осадження небезпечної газоподібної речовини (аміак) представлені на рис. 19.

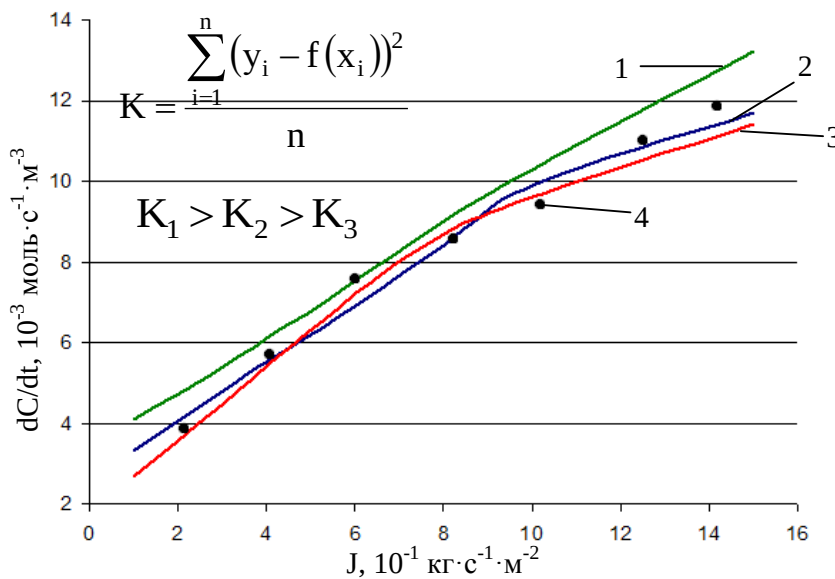


Рис. 19. Залежності швидкості вимивання аміаку водним аерозолем від інтенсивності потоку, отримані розрахунковим та експериментальним шляхами: 1 – розрахунок за критеріальним рівнянням; 2 – розрахунок за допомогою доповненої поетапної моделі; 3 – розрахунок за допомогою симуляційної моделі MD; 4 – експериментальні дані

З порівняльного аналізу теоретичних та експериментальних результатів зроблено висновок, що доповнена поетапна модель (кр. 2, рис. 19) має високий ступінь адекватності.

$$F = 2,7862 < F_{(0.05; f_{ад}; f_y)} = 3,9381. \quad (16)$$

де $F_{(0.05; f_{ад}; f_y)}$ – критерій Фішера при 5% – го рівня значущості; $f_{ад}$ – число ступенів свободи дисперсії адекватності; f_y – число ступенів свободи дисперсії відтворення.

Результати експерименту з осадження дрібнодисперсного пилу представлені на рис. 20.

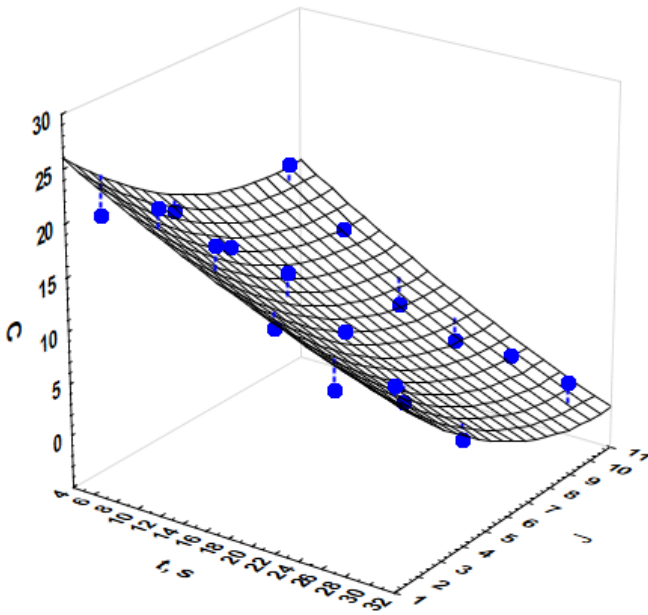


Рис. 20. Залежність швидкості зміни концентрації дрібнодисперсних часток оксиду кремнію (C , 10^{-7} м^{-3}) при осадженні водним аерозолем з інтенсивністю (J , $10^{-1} \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$): поверхня – розрахункові дані; крапки – експериментальні дані.

Похибка вимірювань пояснюється широким діапазоном дисперсності пилу, що підлягає осадженню, низьким рівнем хімічної чистоти дисперсної речовини та похибкою перерахунку концентрації дисперсних часток із даних пропускної здатності аерозолю.

Частинки сажі та золи мають складну структуру з різними поверхневими властивостями, тому застосування теоретичних моделей коагуляції для суміші таких продуктів горіння призводить до значної похибки. Тому проведено серію експериментів з осадження продуктів горіння різних класів горючих матеріалів; при цьому горючі матеріали розбиті на дві групи – целюлозовмісні (рис. 21) та нафтопродукти (рис. 22).

Матриця двохфакторного експерименту по визначенню залежності швидкості осадження аерозольних продуктів горіння від інтенсивності (I) та дисперсності (r) опадів наведена в таблиці 4.

Таблиця 4. Ядро центрального композиційного планування другого порядку для двох факторів

Експеримент	$X_1(I)$	$X_2(r)$	$\tau, \text{з}$					
			ГМ1	ГМ2	ГМ3	ГМ4	ГМ5	ГМ6
Планування типу 2^2	-1	-1	38	36	48	52	42	38
	+1	-1	10	10	13	12	11	11
	-1	+1	75	58	72	63	97	87
	+1	+1	31	26	15	18	37	33
Нульова точка	0	0	46	34	31	42	48	46

Осадження продуктів горіння починалося при досягненні концентрації аерозолю $\sim 10^9 \text{ м}^{-3}$. Необхідно відзначити, що гранична концентрація диму, зазначена вище, при горінні бензину досягається лише через 3 – 5 хвилин, тоді як при горінні сирої нафти така концентрація утвориться за 30–40 секунд, а при горінні торфу – за 50–60 секунд. Вимірюваним критерієм швидкості осадження є час (τ) зниження концентрації на 80 % від первинної.

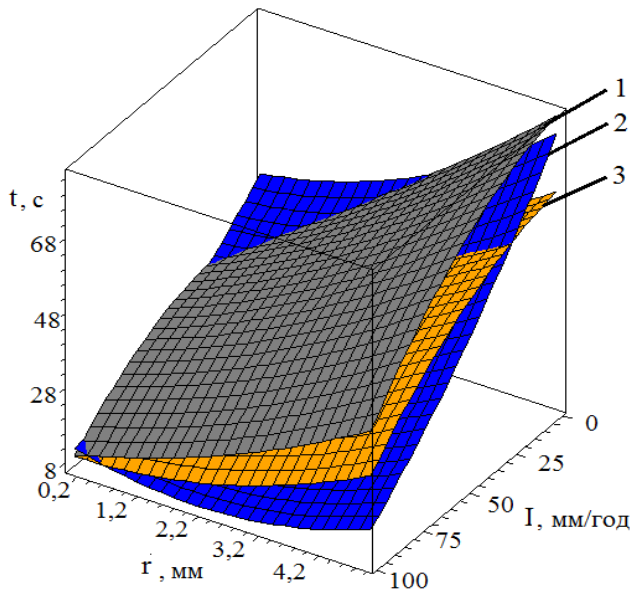


Рис. 21. Залежність швидкості оса-
дження продуктів горіння целюлозов-
місних матеріалів від інтенсивності та
дисперсності опадів: 1 – ГМ1; 2 –
ГМ3; 3 – ГМ2

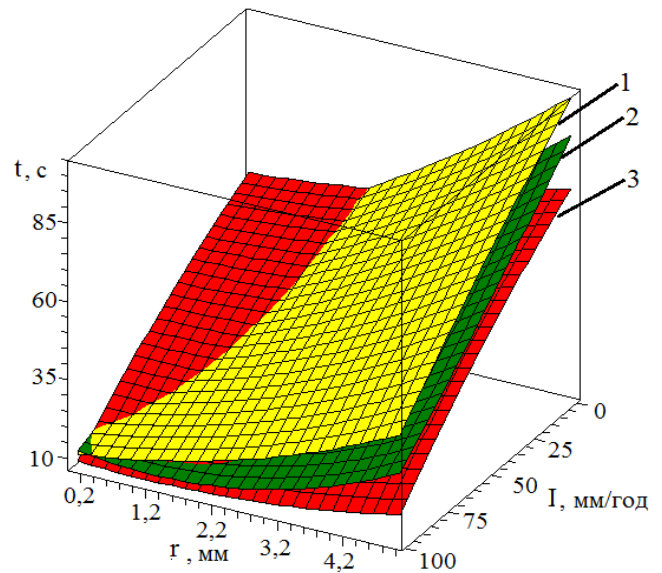


Рис. 22. Залежність швидкості оса-
дження продуктів горіння нафтопродук-
тів від інтенсивності та дисперсності
опадів: 1 – ГМ5; 2 ГМ6; 3 – ГМ4

Узагальнюючий аналіз швидкості осадження димів рослинних матеріалів та нафтопродуктів свідчить про високу інтенсивність вимивання аерозольних продуктів горіння рослинних матеріалів, що пов'язано з більшою гідрофобністю сажі нафтопродуктів.

Для забезпечення необхідних умов дослідження процесів горіння різних горючих матеріалів розроблено лабораторний стенд (рис. 23.).

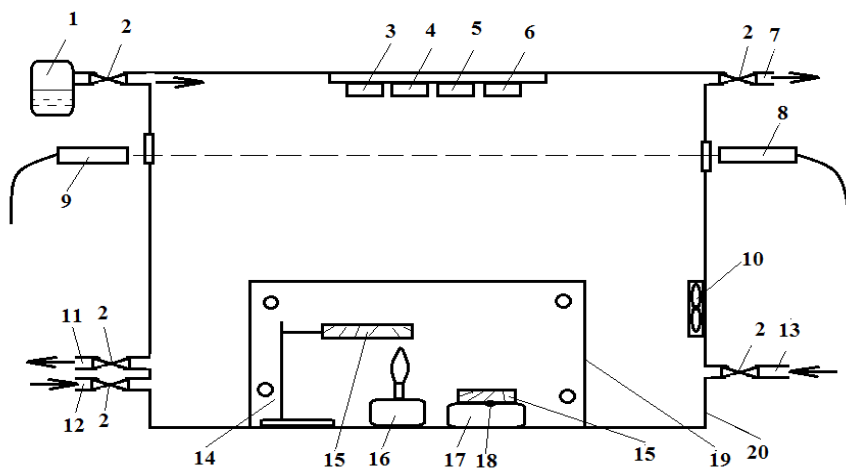


Рис. 23. Схема лабора-
торної камери: 1 – уль-
тразвуковий дисперга-
тор, 2 – запірна арма-
тура, 3 – детектор тем-
ператури, 4 – детектор
диму, 5 – детектор мо-
нооксиду карбону, 6 –
детектор кисню,
7 - трубопровід відве-
дення продуктів горін-
ня,

8 – лазер, 9 – фотоприймач, 10 – електровентилятор, 11 – трубопровід відводу газового середовища, 12 - трубопровід нагнітання повітря, 13 – трубопровід введення кисню, 14 - штатив, 15 – зразок горючого матеріалу, 16 – газова горілка, 17 - електронагрівач, 18 – термопара, 19 – технологічний люк, 20 - герметичний корпус

Матриця двофакторного експерименту по визначенню залежності швидкості поширення полум'я за зразком від швидкості вітру, вологості повітряного середовища та вологості зразка наведена в таблиці 5.

Таблиця 5 Ядро центрального композиційного планування другого порядку для трьох факторів

Експеримент	$X_1(W_0)$	$X_2(W_{\text{пс}})$	$X_3(V_0)$	$V \cdot 10^2, \text{ м/с}$					
				дерево (гориз.)	дерево (верт.)	гілки (гориз.)	гілки (верт.)	трава	торф
Планування типу 2^3	-1	-1	-1	3,2	3,7	3,6	4,2	4,6	5,3
	+1	-1	-1	1,3	1,5	1,3	1,7	2,8	3,3
	-1	+1	-1	1,7	2,0	1,6	1,9	2,2	2,6
	+1	+1	-1	0,3	0,5	0,2	0,3	0	0
	-1	-1	+1	4,4	3,5	4,7	4,0	5,1	5,8
	+1	-1	+1	0,9	0,6	1,3	0,8	1,2	1,3
	-1	+1	+1	1,2	0,8	1,5	1,1	1,4	1,6
	+1	+1	+1	0	0	0	0	0	0
Нульова точка	0	0	0	2,4	2,1	3,0	2,7	5,2	7,3

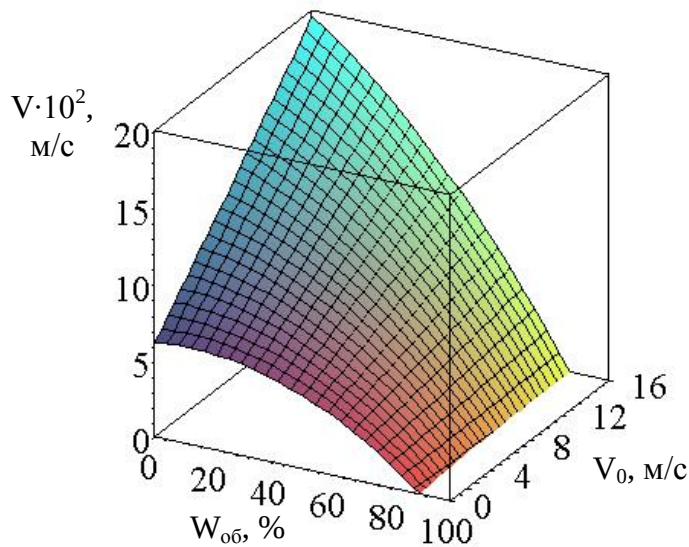


Рис. 24. Вплив вологості зразка торфу та швидкості вітру на швидкість поширення горіння за постійної вологості повітряного середовища

Адекватність моделей перевіряли за критерієм Фішера:

$$F = 2,7862 < F_{(0,05; f_{\text{ад}}; f_y)} = 4,384.$$

Дані (рис. 24) свідчать про різке падіння швидкості поширення полум'я по поверхні торфу за високої вологості повітряного середовища. Зазначений ефект спостерігається в матеріалах із високим ступенем пористості, що сприяє швидкому поглинанню зразком атмосферної вологи й, отже, різкому зниженню швидкості поширення полум'я.

Результати виконаних експериментів укладаються в довірчий інтервал, розрахований за критерієм Фішера з надійністю 0,95, що засвідчує достовірність розроблених математичних моделей та організаційно-технічних методів ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру

У шостому розділі дисертаційної роботи запропоновані варіанти впровадження розроблених організаційно-технічних методів ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру.

Розроблено комплексну систему ліквідації наслідків НС природного і техногенного характеру для атмосфери (рис. 25), яка базується на тому, що підсистема підтримки управлінського рішення має комплекс математичних інструментів для прогнозування змін стану зони забруднення та реалізації процесу впливу на неї, а підсистема виконання рішень володіє новими, розробленими в дисертації, ефективними способами ліквідації забруднення та методиками їхнього використання.

Комплексна схема складається з алгоритмів, розроблених в 3, 4 розділах (рис. 7, 15). На першому етапі проводиться моніторинг зони забруднення зі встановленням її розмірів, географічних координат, висоти нижньої та верхньої меж забруднення, хімічного складу забруднюючих речовин, кількісного складу забруднюючих речовин, дисперсності забруднюючого аерозолі. На другому етапі, або паралельно з першим, проводиться моніторинг метеорологічних параметрів в зоні забруднення (атмосферний тиск, температура, вологість, швидкість і напрямок вітру). Третьою складовою першого рівня системи моніторингу є реєстрація метеорологічних параметрів у зоні можливого опадоутворення.

В якості засобів моніторингу можуть використовуватися космічні засоби (штучні супутники Землі), пілотовані й безпілотні летальні апарати, наземні пересувні та стаціонарні засоби (автоматизована система моніторингу мобільного комплексу аварійного реагування, автоматизована система контролю радіаційної обстановки, метеорологічні радіолокатори). При цьому найбільш перспективними є безпілотні літальні апарати (БПЛА), які обладнані спеціальними засобами метеорологічного контролю, радіаційного контролю та лідарними комплексами хімічного аналізу.

Далі дані надходять на другий і третій рівні системи моніторингу, де відбувається їх обробка, аналіз та систематизація.

Підготовлені результати моніторингу надходять у систему підтримки прийняття управлінського рішення, де на основі отриманих даних із використанням розробленого комплексу розрахункових інструментів проводиться прогнозування інтенсивності опадів, які й визначають швидкість виведення забруднення з нижньої атмосфери.

Після того, як керівник процесу ліквідації забруднення визначився зі способами впливу і доставки активаторів краплеутворення в зону впливу, управлінське рішення надходить у систему виконання рішення, де відбувається його формалізація і постановка конкретних завдань перед виконавцями.

Існує можливість інтегрування в розроблений метод мінімізації наслідків НС для атмосферного повітря нових та перспективних як хімічних, так і фізичних методів штучного впливу на атмосферні процеси.

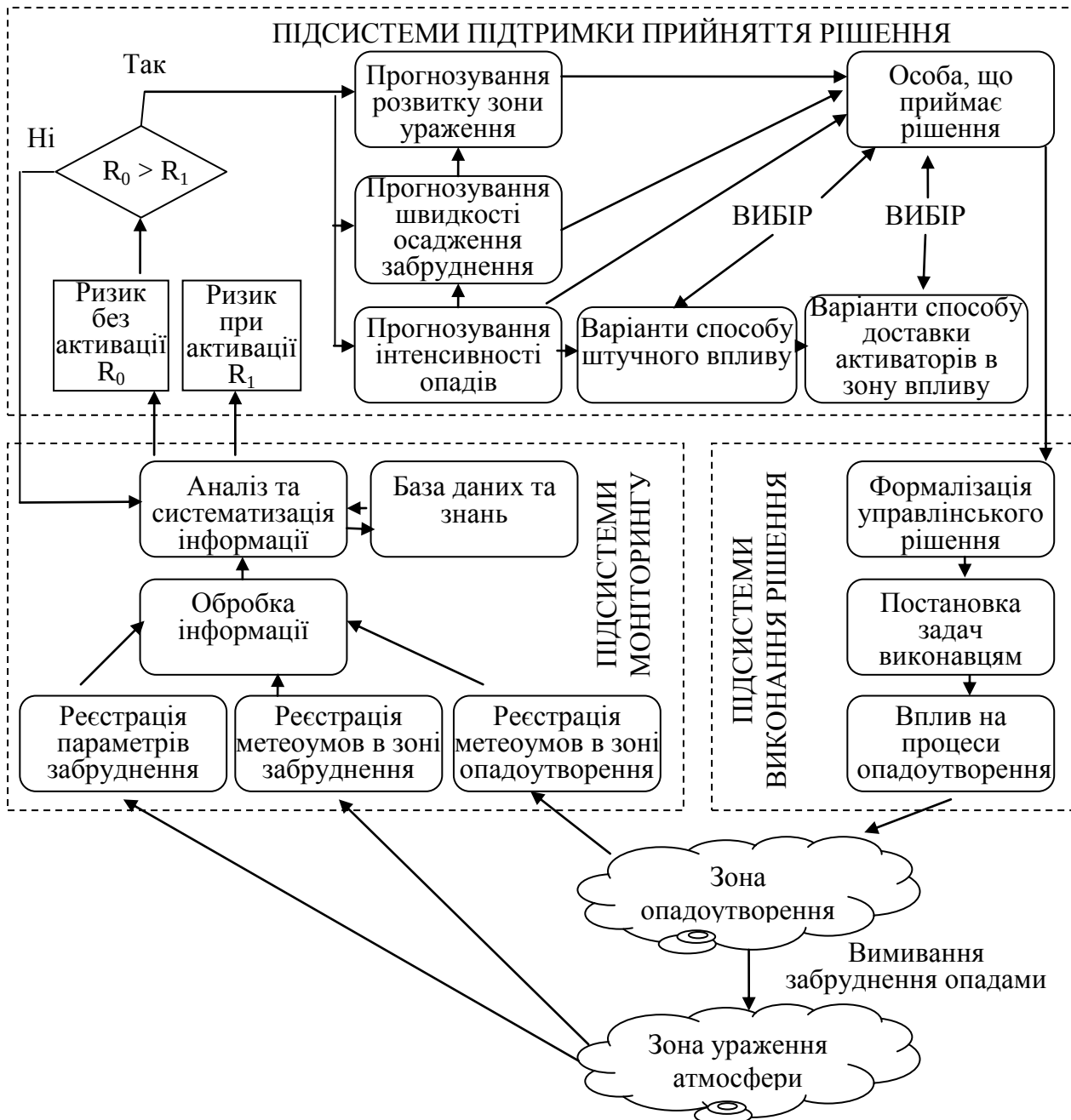


Рис. 25. Комплексна функціональна схема системи ліквідації наслідків НС для атмосфери при використанні нових та удосконалених методів штучного опадоутворення

Для визначення умов використання запропонованої системи проводиться загальна оцінка ризиків (R), які визначаються добутком ймовірності події (Z) та збитку від наслідків (A):

$$R = Z \cdot A. \quad (16)$$

Оскільки оцінюються ризики від тієї ж самої події (НС), то ймовірності є рівними ($Z_0 = Z_1$). Відповідно ризики (R_0 , R_1) будуть визначатися відповідними збитками (A_0 , A_1), які розраховані згідно із затвердженою КМУ «Методикою оці-

нки збитків від наслідків надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру».

За умови $R_0 \leq R_1$ активація системи не доцільна, однак ситуація розвивається в часі, тому необхідний постійний контроль моніторингових параметрів для відстеження моменту можливої зміни ситуації. За умови $R_0 > R_1$, відбувається активація основних систем підтримки ухвалення рішення, де на основі отриманих даних з використанням розробленого комплексу розрахункових інструментів проводиться прогнозування інтенсивності опадів, які визначають швидкість виведення забруднення з нижньої атмосфери.

Проведено розрахунок економічного ефекту від впровадження розробленої системи мінімізації наслідків НС для атмосфери на прикладі пожежі на нафтобазі ТОВ «Битрембудматеріали», який показав зменшення збитків на 2 порядки.

ВИСНОВКИ

Вирішено актуальну науково-практичну проблему в галузі забезпечення цивільного захисту держави, а саме: розроблено нові організаційно-технічні методи ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру, що призводять до викиду в атмосферу газоподібних та дисперсних небезпечних речовин.

При виконанні дисертаційної роботи отримані наступні висновки:

1. Аналіз існуючих систем та принципів ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру з викидом в атмосферу небезпечних речовин показує, що передові держави світу, такі як США, держави Європейської співдружності та Китай, використовують багатофункціональні системи моніторингу для прогнозу та попередження цих надзвичайних ситуацій. В державах СНД ведеться розвиток систем у цьому напрямку. В арсеналі цих держав є системи штучного ініціювання опадів різного призначення, які можуть бути використані для ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій.

2. Особливості надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру з викидом в атмосферу небезпечних речовин, які відбуваються в Україні, показують, що одним з перспективних напрямів вирішення цієї проблеми є розробка нових організаційно-технічних методів ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру, що призводять до викиду в атмосферу небезпечних газоподібних та дисперсних речовин, шляхом штучного ініціювання опадів, які, з одного боку, повинні призводити до осадження хімічних та радіоактивних небезпечних речовин з атмосфери, а з іншого – дозволяти локалізувати осередки природних та техногенних катастроф, що супроводжуються інтенсивним горінням.

3. На базі математичної моделі осадження штучно ініційованими атмосферними опадами газоподібних та дисперсних небезпечних хімічних і радіоактивних речовин, що викидаються в атмосферу внаслідок надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру, розроблено організаційно-технічний метод ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій природного та техногенного хара-

ктеру шляхом осадження з атмосфери небезпечних газоподібних та дисперсних речовин. Він призначений для ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру, що призводять до викиду в атмосферу газоподібних та дисперсних небезпечних хімічних і радіоактивних речовин. Його використання передбачає виконання п'яти процедур, а саме: отримання керівником ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій необхідного комплексу моніторингової інформації; розрахунок часу вільного поширення зони ураження в атмосфері; визначення розмірів прогнозованої зони атмосферного ураження; проведення оцінки належності площі НС області допустимих рішень; залучення сил та засобів для ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій.

4. На базі математичної моделі процесу локалізації та ліквідації штучно ініційованими опадами осередків природних та техногенних катастроф з інтенсивним горінням розроблено організаційно-технічний метод ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру шляхом локалізації осередків інтенсивного горіння. Він призначений для ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру з осередками інтенсивного горіння. Його використання передбачає використання чотирьох процедур, а саме: збір, обробка та систематизація моніторингових даних; прогнозування розвитку осередку горіння та інтенсивності опадів; постановка конкретних задач виконавцям; безпосередній вплив на атмосферні процеси.

5. Результати лабораторних експериментів, виконаних на лабораторній установці для дослідження процесів осадження газоподібних та дисперсних речовин, яка включає: герметичний корпус, системи контролю концентрації газу в об'ємі камери, пристрій подачі в камеру дрібнодисперсного рідинного аерозолі, відсік для горіння, та лабораторній установці для дослідження процесів горіння за різних метеорологічних умов, яка включає: герметичну камеру, модельний осередок горіння, системи контролю середовища та джерело запалювання, розраховані з надійністю 0,95 за критерієм Фішера, що засвідчує достовірність розроблених моделей та організаційно-технічних методів.

6. На основі розроблених організаційно-технічних методів ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру запропоновано нову комплексну систему ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру з викидом в атмосферу небезпечних речовин. До складу розробленої системи включені три підсистеми – підсистема моніторингу, підсистема підтримки управлінського рішення та підсистема виконання управлінського рішення.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, у яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

Монографія:

1. **Кустов М.В.** Современные способы искусственного инициирования осадков для ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. Харьков, СтильИздат, 2016. 130 с.

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

2. Пospelov Б.Б., **Кустов М.В.** Инициирование атмосферных осадков многопозиционными системами излучателей. *Зб. наук. праць Харківського університету Повітряних Сил*. Харків, 2014. Вип. 3(40). С. 184–189. (Включено до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus).

Здобувачу особисто належить постановка задачі, аналіз останніх досліджень і публікацій, вибір конфігурації розміщення випромінювачів.

3. **Kustov M.V.**, Pospelov B.B. Determination of the electromagnetic sediment initiation field during radioactive and chemical substances deposition from the atmosphere. *Екологічна безпека*. Кременчук, 2015. Вип. 1/2015 (19). С. 50–53. (Включено до міжнародних наукометричних баз Index Copernicus, Open Academic Journals Index, Ulrich's Periodicals Directory).

Здобувачу особисто належить постановка задачі, аналіз технічних засобів іонізації повітря, розрахунок зон електромагнітного впливу на хмари.

4. **Кустов М.В.** Экспериментальное исследование интенсивности осаждения аэрозольных продуктов горения атмосферными осадками. *Екологічна безпека*. Кременчук, 2015. Вип. 2/2015 (20). С. 84–90. (Включено до міжнародних наукометричних баз Index Copernicus, Open Academic Journals Index, Ulrich's Periodicals Directory).

5. **Кустов М.В.** Исследование динамики образования и выпадения кислотных осадков в результате крупных природных и техногенных пожаров. *Восточно-европейский журнал передовых технологий*. Харьков, 2016. Вип. 1/10 (79). С. 11–17. (Включено до міжнародних наукометричних баз Scopus, Index Copernicus, Open Academic Journals Index, Ulrich's Periodicals Directory, American Chemical Society, Bielefeld Academic Search Engine, CrossRef).

6. **Кустов М.В.**, Калугін В.Д., Тютюник В.В. Узагальнена процедура штучного ініціювання опадів над зоною ураження від надзвичайних ситуацій. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. Харків, 2017. Вип. 26. С. 87–96. (Включено до міжнародних наукометричних баз Index Copernicus, Academic Research Index – ResearchBib, Ulrich's Periodicals Directory).

Здобувачу особисто належить ідея статті, розробка деяких елементів процедури прийняття управлінського рішення та його виконання.

7. **Kustov M.**, Kalugin V. Modification of pyrotechnic composition to effectively neutralize acidic and chemically hazardous atmospheric precipitation. *Техногенно-екологічна безпека: наук.-техн. журн.* Харків, 2018. № 3 (1/2018). С. 28–32. (Включено до міжнародних наукометричних баз Root Indexing, Academic Research Index – ResearchBib, Ulrich Web, Cite Factor).

Здобувачу особисто належить проведення експериментів, інтерпретація результатів.

8. **Кустов М.В.**, Соболев О.М., Тютюник В.В., Калугін В.Д. Підсистема мінімізації наслідків надзвичайних ситуацій для атмосфери, яка побудована на базі методів штучного опадотворення. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. Харків,

2018. Вип. 27. С. 52–65. (Включено до міжнародних наукометричних баз Index Copernicus, Academic Research Index – ResearchBib, Ulrich's Periodicals Directory).

Здобувачу особисто належить розробка методики мінімізації наслідків надзвичайних ситуацій, проведення розрахунків розмірів зон ураження.

Статті у наукових фахових виданнях України:

9. **Кустов М.В.** Калугин В.Д. Использование водосодержащих образований в атмосфере для тушения крупных пожаров на открытой местности. *Зб. наук. праць Харківського університету Повітряних Сил*. Харків, 2011. Вип. 2(28). С. 176–179.

Здобувачу особисто належить узагальнення літературних джерел, аналіз особливостей використання опадів для гасіння пожеж.

10. **Кустов М.В.,** Калугин В.Д., Коврегін В.В. Влияние климатических факторов на процессы развития и прекращения крупных пожаров на открытой местности. *Проблемы пожарной безопасности*. Харьков, 2011. Вып. 29. С. 102-109.

Здобувачу особисто належить проведення експериментальних досліджень та обробка їх результатів.

11. **Кустов М.В.** Исследование механизмов каплеобразования при тушении пожаров атмосферными осадками. *Проблемы пожарной безопасности*. Харьков, 2011. Вып. 30. С. 153–159.

12. **Кустов М.В.,** Калугин В.Д. Интенсификация процесса каплеобразования в атмосфере путем активного воздействия на неё мощного электромагнитного излучения. *Проблемы пожарной безопасности*. Харьков, 2012. Вып. 31. С. 109–119.

Здобувачу особисто належить узагальнення літературних джерел, проведення теоретичних розрахунків процесу конденсації пари води на заряджених центрах краплеутворення.

13. **Кустов М.В.,** Калугин В.Д. К вопросу о возможности применения различных методов конденсации для осаждения атмосферной влаги. *Зб. наук. праць Харківського університету Повітряних Сил*. Харків, 2012. Вип. 2(31). С. 134-137.

Здобувачу особисто належить узагальнення літературних джерел, розрахунок критичного ступеню пересичення пари.

14. **Кустов М.В.** Влияние скорости ветра, влажности воздуха и горючего материала на скорость распространения ландшафтных пожаров. *Проблемы пожарной безопасности*. Харьков, 2012. Вып. 32. С. 133-141.

15. **Кустов М.В.,** Калугин В.Д. Установка для моделирования процессов конденсации в атмосферных аквааэрозолях. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. Харків, 2012. Вип. 16. С. 54–58.

Здобувачу особисто належить ідея статті, розробка схеми установки та методики проведення досліджень.

16. **Кустов М.В.**, Шаршанов А.Я. Модель процесса испарения атмосферных осадков в воздушной среде в зоне ландшафтных пожаров. *Проблемы пожарной безопасности*. Харьков, 2013. Вып. 33. С. 104–112.

Здобувачу особисто належить ідея статті, формулювання завдання, написання огляду.

17. Шаршанов А.Я., **Кустов М.В.** Моделирование атмосферных осадков для определения их противопожарного потенциала. *Проблемы пожарной безопасности*. Харьков, 2013. Вып. 34. С. 186–193.

Здобувачу особисто належить формулювання завдання, участь у інтерпретації результатів, написання огляду.

18. **Кустов М.В.**, Калугин В.Д. Влияние межчастичных взаимодействий на процесс осадкообразования в искусственно ионизированной области атмосферы. *Пожарна безпека*. Львів, 2013. №. 23. С. 93–101.

Здобувачу особисто належить проведення молекулярно-динамічного моделювання.

19. **Кустов М.В.**, Поспелов Б.Б. Исследование процессов искусственной стимуляции осадков при частичной ионизации атмосферы электромагнитным излучением. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. Харків, 2013. Вип. 17. С. 72–81.

Здобувачу особисто належить ідея статті, проведення експериментів, інтерпретація результатів.

20. **Кустов М.В.**, Поспелов Б.Б. Параметры импульсного сверхвысокочастотного излучения для интенсификации осадкообразования в зоне чрезвычайных ситуаций. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. Харків, 2013. Вип. 18. С. 95–105.

Здобувачу особисто належить формулювання завдання, написання огляду.

21. **Кустов М.В.** Влияние концентрации ионов в атмосфере на интенсивность осадков над зоной выброса опасных веществ. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. Харків, 2014. Вип. 20. С. 93–98.

22. **Кустов М.В.** Прогнозирование эффективности очистки атмосферы от твёрдых продуктов горения. *Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист*. Київ, 2015. Вип. 9. С. 78–91.

23. **Кустов М.В.** Дополнения к методикам прогнозирования зон химического и радиационного загрязнения территории. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. Харків, 2016. Вип. 23. С. 67–77.

24. **Кустов М.В.**, Калугин В.Д. Модификация пиротехнических составов для эффективного осаждения из атмосферы вредных веществ. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. Харків, 2016. Вип. 24. С. 77–81.

Здобувачу особисто належить розробка методики експерименту та його проведення.

25. **Кустов М.В.**, Калугин В.Д. Система обеспечения экологической безопасности нижней атмосферы с использованием методов искусственного осадкообразования. *Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист*. Київ, 2016. Вип. 11. С. 37–43.

Здобувачу особисто належить розробка структури системи та опис її складових.

26. **Кустов М.В.**, Калугин В.Д., Тютюник В.В., Ольховиков С.В. Функционирование системы обеспечения экологической безопасности атмосферы при возникновении чрезвычайных ситуаций. *Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист*. Київ: ІГНС НАН України, 2017. Вип. 12. С. 24-37.

Здобувачу особисто належить розробка методики розрахунку ризиків при використанні систем ліквідації наслідків НС.

Статті у наукових періодичних виданнях інших держав з напрямку, з якого підготовлено дисертацію:

27. Андронов В.А., Калугин В.Д., **Кустов М.В.** Установка для исследования горючих и огнезащитных свойств веществ и материалов при различных условиях. *Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация*. Минск, 2013. № 2(34). С. 47–51.

Здобувачу особисто належить ідея статті, розробка схеми установки та опис методики проведення досліджень.

28. Поспелов Б.Б., **Кустов М.В.** Исследование процесса нуклеации водяного пара под воздействием электромагнитного излучения. *Чрезвычайные ситуации: образование и наука*. Гомель, 2013. Т. 8, №. 2. С. 45–50.

Здобувачу особисто належить розробка методики експериментів, проведення експериментів, інтерпретація результатів.

29. **Кустов М.В.** Физико-химические основы процесса каплеобразования в атмосфере на заряженных центрах конденсации. *Технологии техносферной безопасности: научный интернет-журнал*. Москва, 2014. № 1 (53). С. 1–9. URL: <http://academygps.ru/img/UNK/asit/ttb/2014-1/15-01-14.ttb.pdf>.

30. **Кустов М.В.** Определение необходимой интенсивности осадков для тушения ландшафтного пожара. *Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация*. Москва, 2014. №. 1. С. 12–18.

31. **Кустов М.В.** Влияние концентрации ионов в атмосфере Земли на процессы осадкообразования над зоной пожара. *Научные и образовательные проблемы гражданской защиты*. Химки, 2014. № 2(21). С. 114–118.

32. **Kustov M.**, Kalugin V., Levterov A. The main physical and chemical properties of the radioactive particles ejected into the atmosphere at accidents. *Scientific Bulletin Of North University Center Of Baia Mare*. Baia Mare, 2015. Series D, Volume XXIX, №. 2. Pp. 101–113.

Здобувачу особисто належить аналіз та систематизація властивостей радіоактивних часток, встановлення особливостей їх осадження із атмосфери.

33. **Kustov M.**, Kalugin V., Levterov A. Rain scavenging of a radioactive aerosol atmospheric precipitation. *Austrian Journal of Technical and Natural Sciences*. Vienne, 2016. № 3–4. Pp. 73–76.

Здобувачу особисто належить формулювання завдання, моделювання процесу коагуляції.

34. **Кустов М.В.,** Рябцев В.Н. Экспериментальная проверка моделей осаждения газообразных опасных химических веществ осадками. *Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси*. Минск, 2017. Т. 1, № 1. С. 80–86.

Здобувачу особисто належить розробка методики експерименту та його проведення, інтерпретація результатів.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

35. **Кустов М.В.,** Калугин В.Д. Влияние климатических факторов на процессы развития и прекращения крупных пожаров на открытой местности. *Пожарная безопасность: проблемы и перспективы*. Сб. материалов II Междунар. науч.-практ. конф. 22 сентября 2011. Воронеж. 2011. С. 208–209. (Форма участі – заочна).

Здобувачу особисто належить збір метеорологічних даних регіону, обробка результатів класифікації по рівню впливу.

36. **Кустов М.В.,** Калугин В.Д. Влияние влажности на процессы развития и прекращения крупных пожаров на открытой местности. *Пожарная безопасность-2011*. X Міжнародна наук.-практ. конф. 12 травня 2011. Харків: НУЦЗУ. 2011. С. 262–263. (Форма участі – очна).

Здобувачу особисто належить проведення експериментальних досліджень та інтерпретація їх результатів.

37. **Кустов М.В.,** Калугин В.Д. Воздействие мощного электромагнитного излучения на процессы каплеобразования в атмосфере. *Пожарная и аварийная безопасность*. Сб. материалов VII науч.-практ. конф. 18 ноября 2012. Иваново. 2012. С. 118–121. (Форма участі – заочна).

Здобувачу особисто належить моделювання впливу електромагнітного поля на процеси конденсації пари.

38. **Кустов М.В.,** Калугин В.Д. Электромагнитный метод интенсификации осадкообразования в атмосфере земли. *Пожарная безопасность: проблемы и перспективы*. Материалы III Международной научно-практической конференции. 20 сентября 2012. Воронеж. 2012. С. 149–151. (Форма участі – заочна).

Здобувачу особисто належить ідея використання існуючих технічних засобів для штучної іонізації повітря.

39. **Кустов М.В.,** Калугин В.Д. Интенсификация процесса разрушения аквааэрозолей в атмосфере при воздействии на них мощным электромагнитным излучением. *Дисперсные системы*. Материалы XXV науч. конф. стран СНГ. 17-21 сентября 2012. Одесса: ОНУ. 2012. С. 157–158. (Форма участі – очна).

Здобувачу особисто належить розрахунок потужності електромагнітного поля для штучної інтенсифікації опадів.

40. **Кустов М.В.,** Несторчук И.В. Исследование скорости распространения пламени по горючим материалам ландшафтных пожаров. *Об'єднання теорії та практики – запорука підвищення босздатності оперативно-рятувальних підрозділів*. Зб. матер. Всеукр. наук.-практ. конф. 10 октября 2013. Харків. НУЦЗУ. 2013. С. 66–67. (Форма участі – очна).

Здобувачу особисто належить проведення експериментальних досліджень та інтерпретація їх результатів.

41. **Кустов М.В.** Интенсификация осадкообразования в атмосфере с помощью импульсного СВЧ излучения. *Предупреждение и ликвидация чрезвычайных ситуаций*. Сб. материалов Межд. конф. 28 ноября 2013. Минск. 2013. С. 91–93. (Форма участі – очна).

42. **Кустов М.В.** Исследование процесса каплеобразования в атмосфере при различной влажности воздуха. *Теорія та практика гасіння пожеж та ліквідації НС*. Зб. праць Міжн. конф. 6-7 грудня 2013 року. Черкаси. 2013. С. 213–215. (Форма участі – очна).

43. **Кустов М.В.** Тушение ландшафтных пожаров под действием атмосферных осадков. *Пожежна безпека – 2013*. Матеріали XI Міжн. наук.-практ. конф. 25-26 вересня 2013. Київ. 2013. С. 407–411. (Форма участі – очна).

44. **Кустов М.В.,** Несторчук И.В. Исследование скорости распространения пламени по материалам растительного происхождения. *Наукове забезпечення діяльності оперативно-рятувальних підрозділів*. Зб. праць Всеукр. конф. 12 березня 2014. Харків. 2014. С. 91-92. (Форма участі – очна).

Здобувачу особисто належить проведення експериментальних досліджень та інтерпретація їх результатів.

45. **Кустов М.В.** Влияние концентрации ионов в атмосфере на интенсивность осадков над зоной выброса опасных веществ. *Наукове забезпечення діяльності оперативно-рятувальних підрозділів*. Зб. матеріалів. Всеукраїнської наук.-практ. конф. 10 березня 2014. Харків: НУЦЗУ. 2014. С. 225–228. (Форма участі – очна).

46. **Кустов М.В.** Химически опасные выбросы в атмосферу при крупных пожарах. *Сучасний стан цивільного захисту України: перспективи та шляхи до Європейського простору*. Матеріали 17 Всеукраїнської наук.-практ. конференції рятувальників. 10 жовтня 2015. Київ: ІДУ ЦЗ, 2015. С. 222–225. (Форма участі – заочна).

47. Тютюник В.В., Калугин В.Д., Тютюник Ю.В., **Кустов М.В.** Комплексна система моніторингу надзвичайних ситуацій для збереження та раціонального використання природних та енергетичних ресурсів України. *Сучасні ресурсозберігаючі технології. Проблеми і перспективи* Зб. доповідей. III Міжнародн. наук.-практ. конф. 9-13 листопада 2015. Одеса. ОНУ ім. І.І. Мечнікова, 2015. С. 268–276. (Форма участі – заочна).

Здобувачу особисто належить розробка підсистеми ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру.

48. **Кустов М.В.** Экспериментальное исследование процесса осаждения дымов атмосферными осадками. *Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация*. Материалы VII Межд. науч.-практ. конф. 1 ноября 2016. Минск (РБ). 2016. С. 213-215. (Форма участі – заочна).

49. **Кустов М.В.,** Калугин В.Д. Анализ основных классов химических реагентов для искусственного осадкообразования. *Проблеми техногенно-екологічної*

безпеки: освіта, наука, практика. Матеріали Всеукр. науч.-практ. конф. 24 листопада 2016. Харків. НУЦЗУ. 2016. С. 175-176. (Форма участі – очна).

Здобувачу особисто належить систематизація та класифікація основних небезпечних речовин, що викидаються в атмосферу при надзвичайних ситуаціях.

50. **Кустов М.В.**, Калугин В.Д. Исследование процесса горения пиротехнических составов для искусственного осадкообразования. *Актуальные проблемы пожарной безопасности, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций.* Матеріали VII Межд. науч.-практ. конф. 24 октября 2016. Кокчетав (Казахстан). 2016. С. 100-103. (Форма участі – заочна).

Здобувачу особисто належить проведення експериментальних досліджень та інтерпретація їх результатів.

51. **Кустов М.В.**, Калугин В.Д. Расчет температуры горения пиротехнических составов для искусственного осадкообразования. *Пожарная и техногенная безопасность.* Матеріали Міжнародн. науч.-практ. конф. 21 жовтня 2016. Львів. ЛДУБЖД. 2016. С. 319-321. (Форма участі – заочна).

Здобувачу особисто належить розрахунок температури горіння піротехнічних складів.

52. **Кустов М.В.**, Калугин В.Д. Электрофизический метод интенсификации осадков над зоной масштабного пожара. *Проблемы пожарной безопасности.* Матеріали Міжнародн. науч.-практ. конф. 9 листопада 2016. Харків. НУЦЗУ. 2016. С. 96-98. (Форма участі – очна).

Здобувачу особисто належить ідея статті, постановка задач та аналіз результатів.

53. Тютюник В.В., Калугін В.Д., **Кустов М.В.** Науково-технічні напрямки розвитку підсистем комплексної системи моніторингу, попередження, ліквідації надзвичайних ситуацій та мінімізації їх наслідків в Україні. *Безпека життєдіяльності на транспорті і виробництві – освіта, наука, практика.* Матеріали IV Міжнар. Науково-практ. Конф. 20 травня 2017. Херсон, ХДМА. 2017. С. 83-89. (Форма участі – заочна).

Здобувачу особисто належить розробка підсистеми ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій.

54. Тютюник В.В., Калугін В.Д., **Кустов М.В.** Наукові основи створення в Україні системи моніторингу, попередження, ліквідації надзвичайних ситуацій та особливості розвитку її підсистем. *Сучасний стан цивільного захисту України та перспективи розвитку.* Матеріали 19 Всеукраїнської наук.-практ. конференції 26 вересня 2017. Київ: ІДУ ЦЗ. 2017. С. 431-434. (Форма участі – заочна).

Здобувачу особисто належить розробка підсистеми ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій.

55. Тютюник В.В., Калугін В.Д., **Кустов М.В.** Науково-технічні напрямки розвитку підсистеми моніторингу, попередження надзвичайних ситуацій та мінімізації їх наслідків єдиної державної системи цивільного захисту. *Стратегія реформування організації цивільного захисту.* Матеріали наук.-практ. конференції 12 червня 2018. Київ: УкрНДІЦЗ. 2018. С. 237-239. (Форма участі – заочна).

Здобувачу особисто належить розробка підсистеми ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій.

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

56. **Кустов М.В.**, Калугин В.Д. Прогнозирование интенсивности осаждения газообразных токсичных химических веществ атмосферными осадками. *East European Scientific Journal*. Варшава, 2016. Вип. 2(6). С. 52–59.

Здобувачу особисто належить моделювання процесу сорбції небезпечних газів.

57. Пат. 104709 України, МПК A62C 99/00 (2014.01) Стенд для дослідження процесів горіння / Андронов В.А., Тарахно О.В., Калугін В.Д., **Кустов М.В.**, Жернокльов К.В.; патентовласник: Національний університет цивільного захисту України. – № 201306647 от 28.05.2013.

58. Пат. 104561 України, МПК G05D 22/00 (2014.01) Кліматична камера / Калугін В.Д., **Кустов М.В.**, Поспелов Б.Б.; патентовласник: Національний університет цивільного захисту України. – № 201304372 от 10.02.2014.

59. Пат. № 104957, Україна, B01D53/18 Камера для дослідження процесів масообміну / Калугін В.Д., **Кустов М.В.** (UA); патентовласник НУЦЗУ (UA) – № 201508952; заявл. 16.09.2015; опубл. 25.02.2016.

60. Пат. № 108420 України, МПК G06D 31/02 (2016.01) Піротехнічний склад для штучного опадоутворення / Калугін В.Д., **Кустов М.В.**; патентовласник: Національний університет цивільного захисту України. – № 201601505 от 18.02.2016.

АНОТАЦІЯ

Кустов М.В. Організаційно-технічні методи ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій, що призводять до викиду в атмосферу небезпечних речовин. – 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, Державна служба України з надзвичайних ситуацій, Харків, 2019.

Вперше розроблена математична модель осадження штучно ініційованими опадами газоподібних та дисперсних небезпечних речовин, що потрапляють в атмосферу внаслідок природних та техногенних катастроф, яка являє собою систему з чотирьох залежностей. Розроблено організаційно-технічний метод ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру шляхом осадження з атмосфери газоподібних та дисперсних небезпечних хімічних та радіоактивних речовин, який спирається на розроблену математичну модель процесу осадження штучно ініційованими атмосферними опадами газоподібних та дисперсних небезпечних речовин та передбачає виконання п'яти процедур.

У роботі розроблена математична модель процесу локалізації та ліквідації штучно ініційованими опадами осередків природних та техногенних катастроф з інтенсивним горінням, яка представляє собою систему з п'яти залежностей. Вперше розроблено організаційно-технічний метод ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру шляхом локалізації осередків інтенсивного горіння, який спирається на розроблену математичну модель процесу локалізації та ліквідації штучно ініційованими опадами осередків природних та техногенних катастроф з інтенсивним горінням, та передбачає використання чотирьох процедур.

Вперше розроблено функціональні схеми двох експериментальних установок. Перша дозволяє досліджувати процеси осадження краплями опадів газоподібних, рідких та твердих аерозольних небезпечних речовин, включаючи продукти горіння. Друга експериментальна камера дозволяє досліджувати процеси горіння та реалізує можливість встановлення інтенсивності горіння горючих матеріалів з різними властивостями при широкому діапазоні метеорологічних умов, включаючи опади, температуру, вітер та вологість горючого матеріалу і повітря.

Ключові слова: організаційно-технічний метод; надзвичайні ситуації техногенного та природного характеру; викид в атмосферу небезпечних речовин; газоподібні речовини; дисперсні речовини; небезпечні хімічні речовини; небезпечні радіоактивні речовини; осадження небезпечних речовин з атмосфери; штучне опадоутворення; локалізація осередку інтенсивного горіння; активний реагент; система ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій.

АННОТАЦИЯ

Кустов М.В. Организационно-технические методы ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, приводящих к выбросу в атмосферу опасных веществ. – Квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 21.02.03 «гражданская защита» (21 - национальная безопасность). – Национальный университет гражданской защиты Украины, Государственная служба Украины по чрезвычайным ситуациям, Харьков, 2019.

Впервые разработана математическая модель осаждения искусственно инициированными осадками газообразных и дисперсных опасных веществ, выпадающих в атмосферу в результате природных и техногенных катастроф, которая представляет систему из четырех зависимостей. Разработан организационно-технический метод ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера путем осаждения из атмосферы газообразных и дисперсных опасных химических и радиоактивных веществ, который опирается на разработанную математическую модель процесса осаждения искусственно инициированными атмосферными осадками газообразных и дисперсных опасных веществ и предусматривает выполнение пяти процедур.

В работе разработана математическая модель процесса локализации и ликвидации искусственно инициированными осадками очагов природных и техно-

генных катастроф с интенсивным горением, которая представляет собой систему из пяти зависимостей. Впервые разработан организационно-технический метод ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера путем локализации очагов интенсивного горения, который опирается на разработанную математическую модель процесса локализации и ликвидации искусственно инициированными осадками очагов природных и техногенных катастроф с интенсивным горением, и предусматривает использование четырех процедур.

Впервые разработаны функциональные схемы двух экспериментальных установок. Первая позволяет исследовать процессы осаждения каплями осадков газообразных, жидких и твердых аэрозольных опасных веществ, включая продукты горения. Вторая экспериментальная камера позволяет исследовать процессы горения и реализует возможность установки интенсивности горения горючих материалов с различными свойствами при широком диапазоне метеорологических условий, включая осадки, температуру, ветер и влажность горючего материала и воздуха.

Ключевые слова: организационно-технический метод; чрезвычайные ситуации техногенного и природного характера; выброс в атмосферу опасных веществ; газообразные вещества; дисперсные вещества; опасные химические вещества; опасные радиоактивные вещества; осаждение опасных веществ из атмосферы; искусственное осадкообразование; локализация очага интенсивного горения; активный реагент; система ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций.

ABSTRACT

Kustov M.V. Organizational and technical methods of emergencies consequences liquidation that lead to the release of dangerous substances into the atmosphere. – Qualifying research paper, manuscript copyright.

Dissertation for the degree of a Doctor of Technical Sciences in specialty 21.02.03 «civil defense» (21 – national security). – National University of Civil Defense of Ukraine, State Emergency Service of Ukraine, Kharkiv, 2019.

The dissertation formulated and solved the actual scientific and practical problem in the field of providing civil defense of the state, namely: new organizational and technical methods for the elimination of the consequences of natural and man-made emergencies that lead to the release of gaseous and dispersed hazardous substances into the atmosphere are developed.

The feature of emergencies of anthropogenic nature is that in the zone of injury there are such dangerous chemicals as ammonia, chlorine or hydrogen sulfide. In the case of industrial fires, particular danger is represented by carbon monoxide, nitrogen and sulfur, hydrocyanic acid, phosgene and phosphorus oxides, solid aerosols of soot and ash. In the event of accidents at the nuclear industry, microparticles of radioactive graphite is released into the atmosphere. A general approach to the elimination of the consequences of natural and industrial emergencies, which leads to the release of hazardous chemical and radioactive substances into the atmosphere, is developed by artifi-

cially initiating precipitation, which is based on the principle of the distribution of atmospheric air zones into the zone of damage and the region of active influence on atmospheric processes.

The purpose of creating an organizational and technical method for the elimination of the consequences of emergencies, for the first time, a mathematical model of precipitation of artificially initiated atmospheric precipitation of gaseous and dispersed hazardous chemical and radioactive substances released into the atmosphere as a result of natural and industrial emergencies, which represents system of four dependencies. The first dependence describes the process of precipitation of gaseous hazardous substances emitted as a result of emergency natural and industrial disasters. The second dependence describes the effect on the process of precipitation of gaseous dangerous substances, the chemical properties of a dangerous gas, meteorological conditions and the chosen management influence on atmospheric processes. The third and fourth dependencies describe the process of precipitation of disperse hazardous substances in a wide range of sizes, which are formed in emergency situations of natural and industrial nature, depending on the chosen control influence on atmospheric processes.

On the basis of the developed mathematical model of precipitation of artificially initiated atmospheric precipitation of gaseous and dispersed hazardous chemical and radioactive substances, for the first time an organizational and technical method of elimination of the consequences of emergency situations of natural and industrial nature was developed by depositing from the atmosphere dangerous gaseous and dispersed substances, the control algorithm of which consists of 14 blocks, placed on three hierarchical levels, connected by direct and feedback, and involves the execution of five procedures.

For the first time a mathematical model of the process of localization and liquidation of artificially initiated sediments of cells of natural and industrial disasters with intense combustion, which is a system of five dependencies, was developed for the first time. The first dependence describes the movement of falling drop of precipitation over the center of an emergency. The second and third dependencies describe the mass and thermal balance of the drop in the combustion cell. The fourth dependence describes the process of absorption of heat by atmospheric precipitation from the combustion cell, depending on the management influence on atmospheric processes. The fifth dependence determines the boundary condition, when the elimination of the intensive combustion cell is impossible and only its localization takes place.

On the basis of the developed mathematical model of the process of localization and liquidation of artificially initiated sediments of cells of natural and industrial disasters with intense combustion, for the first time, an organizational and technical method for the elimination of the consequences of emergency situations of a natural and industrial nature by means of localization of intensive combustion centers was developed, the control algorithm of which consists of 21 blocks placed on three hierarchical levels linked by direct and feedback, and involves performing four procedures.

The validity of the developed mathematical models and organizational and technical methods was performed. To verify the authenticity of the developed organizational and technical methods, a laboratory plants was first developed for the study of pre-

precipitation processes of gaseous and dispersed substances and combustion processes under various meteorological conditions and the methods of conducting experiments on it. The results of the performed experiments are enclosed in the confidence interval calculated according to the Fisher test with a reliability of 0,95, which confirms the reliability of the developed mathematical models and the organizational and technical methods of the elimination of the consequences of emergency situations of natural and industrial nature.

Proposed a new complex system for the elimination of the consequences of natural and industrial emergencies, which leads to the release of hazardous substances into the atmosphere on the basis of developed algorithms of methods for the elimination of the consequences of emergencies, is proposed as by precipitation of artificially initiated sediments of gaseous and dispersed hazardous chemical and radioactive substances, and by localization of the intensive combustion zone using artificially induced precipitation.

Key words: organizational and technical method; emergency situations of technogenic and natural character; release of dangerous substances into the atmosphere; gaseous substances; dispersed substances; hazardous chemicals; hazardous radioactive substances; precipitation of dangerous substances from the atmosphere; artificial precipitation; localization of the intensive burning cell; active reagent; system emergencies.

Підписано до друку 26.04.2019 . Формат 60x84/16.
Папір 80 г/м². Друк ризограф. Ум.друк. арк. 1,0
Тираж 120 прим. Вид. № 112/09. Зам.№ 439/09

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