

*М.В. Кустов, к.т.н., доцент, НУЦЗУ,
В.Д. Калугін, д.х.н., професор, НУЦЗУ,
В.В. Тютюник, д.т.н., с.н.с., НУЦЗУ*

УЗАГАЛЬНЕНА ПРОЦЕДУРА ШТУЧНОГО ІНІЦІУВАННЯ ОПАДІВ НАД ЗОНОЮ УРАЖЕННЯ ВІД НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

(представлено д.т.н. Комяк В.М.)

Розроблено узагальнену процедуру мінімізації наслідків негативного впливу на атмосферу від надзвичайних ситуацій (НС) техногенного та природного характеру, яка включає алгоритми підсистем підтримки прийняття рішення та виконання управлінського рішення в рамках загальної системи. Основою підсистеми підтримки прийняття рішення є прогнозування динаміки зон хімічного або радіаційного забруднення, прогнозування інтенсивності опадів при різних способах штучного опадоутворення та прогнозування ефективності впливу опадів на динаміку зміни зон забруднення.

Ключові слова: система впливу на НС, алгоритм дій, прогнозування наслідків, прийняття рішення, формалізація завдань, активний вплив на НС.

Постановка проблеми. Основною характеристикою більшості масштабних природних та техногенних НС є значні розміри зони ураження. Це насамперед пов'язане з розповсюдженням продуктів горіння, небезпечних хімічних та радіоактивних речовин повітряними потоками. На сьогодні єдиним шляхом мінімізації негативних наслідків НС, на якому сконцентровані зусилля рятувальних підрозділів, є локалізації джерела викиду небезпечних речовин, що не дає змогу вплинути на вже сформовану в атмосфері зону ураження. Вплинути на зону забруднення атмосфери дозволяють методи штучного ініціювання опадів над зоною НС. У зв'язку із цим важливою проблемою є розробка системи мінімізації негативних наслідків для атмосфери від НС різного характеру.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. За рахунок великих масштабів процес мінімізації негативних наслідків для атмосфери від НС здійснюється лише природним шляхом – гравітаційне осадження, зниження концентрації за рахунок вітрових потоків та осадження забруднень атмосферними опадами. Єдиними з цих механізмів, на який можна впливати штучно, є збільшення інтенсивності опадів. На сьогодні активно розробляються нові ефективні методи та способи штучного ініціювання опадів [1 – 3]. Однак процес ліквідації НС регіонального та державного рівнів потребує залучення значних сил та засобів та врахування великої кількості факторів. Тому для реалізації вимог цивільної безпеки для таких випадків необхідна розробка системи забезпечення цивільного

захисту. Загальна структура системи забезпечення цивільного захисту складається із чотирьох основних блоків: об'єкт впливу, система моніторингу, система підтримки ухвалення рішення та система виконання рішення [4 – 6]. Принципи побудови підсистеми моніторингу детально розглянуто у роботі [7]. Однак підсистеми підтримки ухвалення рішення та прийняття рішення для загальної системи мінімізації негативних наслідків від НС на сьогодні не створені.

Постановка завдання та його вирішення. Метою роботи є розробка узагальненої процедури штучного опадоутворення над зоною НС техногенного та природного характеру.

Результати попередніх досліджень по моделюванню процесів осадження небезпечних речовин та впливу опадів на процеси горіння [8 – 11] є базою для прогнозування динаміки зони ураження від надзвичайної ситуації під впливом штучно ініційованих опадів. Функції моделювання та прогнозування розвитку надзвичайної ситуації є невід'ємною складовою підсистеми підтримки прийняття рішення. Для прийняття оперативного та правильного управлінського рішення з використанням великого масиву розрахункових моделей необхідна розробка узагальненої інформаційно-обчислювальної процедури (рис. 1).

Узагальнена процедура з урахуванням викладеної вище математичної бази дозволяє вирішити задачу оперативного прогнозування динаміки розвитку основних факторів НС відразу трьох класів: аварії з викидом небезпечних хімічних речовин; аварії на об'єктах атомної енергетики; масштабні природні пожежі.

Нижче детальніше розглянемо підсистему підтримки прийняття рішення.

Від підсистеми моніторингу атмосфери над зоною НС в підсистему підтримки прийняття рішення передаються наступні масиви параметрів:

1. Координати та геометричні розміри зони забруднення на момент часу τ (N_{τ}^{zone} , S_{τ}^{zone} , W_{τ}^{zone} , E_{τ}^{zone} , h_{τ}^{zone}).
2. Показники безпеки (хімічний склад $X_1 \dots X_n$, концентрація $C_1 \dots C_n$, еквівалентна доза радіаційного випромінювання H).
3. Метеорологічні параметри атмосфери над зоною НС (розподіл температур по висоті T_h ; швидкість та напрямок вітру V_h ; атмосферний тиск P_h ; вологість повітря W_h).
4. Координати N_{τ}^{cloud} , S_{τ}^{cloud} , W_{τ}^{cloud} , E_{τ}^{cloud} , h_{τ}^{cloud} , вологозапас та водність хмар (B_3 , B), потенційно придатних до штучного опадоутворення.
5. Параметри зони горіння (площа пожежі S_f , температура пожежі T_f , висота полум'я H_f , вид горючої речовини).

З урахуванням метеорологічних параметрів атмосфери та виду небезпечної речовини проводиться прогнозування зони хімічного або радіаційного забруднення.

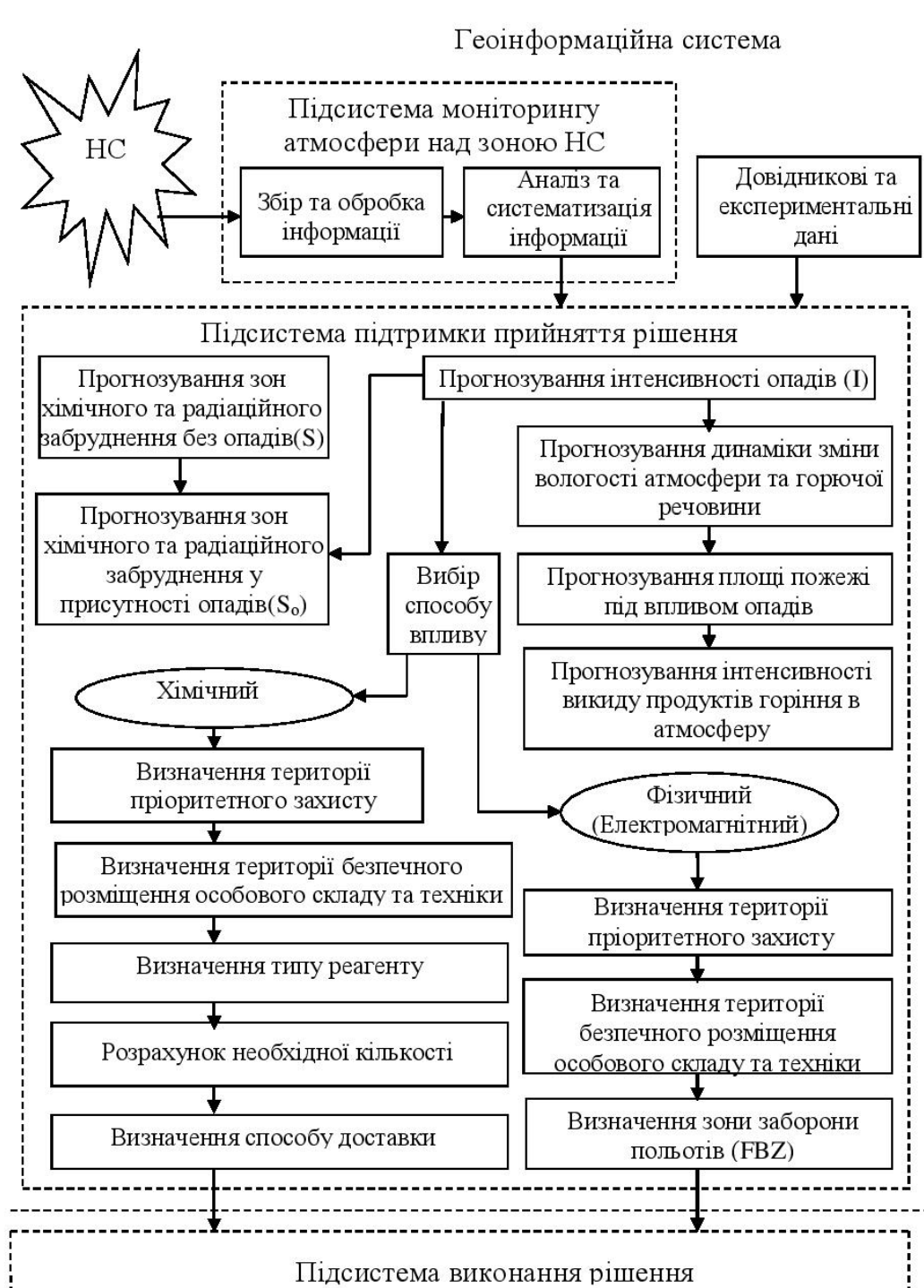


Рис. 1. Узагальнена інформаційно-обчислювальна процедура прогнозування динаміки зони ураження від надзвичайної ситуації під впливом штучно ініційованих опадів

Згідно методики [12] геометричні розміри зони забруднення визначаються глибиною зони Γ , яка для оперативності розрахунків затабульована:

– площа зони можливого хімічного забруднення

$$S_{\text{зmxз}} = 8,72 \cdot 10^{-3} \cdot \Gamma^2 \cdot \varphi; \tag{1}$$

– площа прогнозуємої зони хімічного забруднення

$$S_{\text{пзхз}} = K \cdot \Gamma^2 \cdot N^{0,2}, \quad (2)$$

де φ – коефіцієнт, який умовно дорівнює кутовому розміру; K – коефіцієнт, який залежить від ступеню вертикальної стійкості повітря; N – час, на який розраховується глибина зони.

Параметри зони хмарності та метеоумови є основою для прогнозування інтенсивності штучно ініційованих опадів. При цьому необхідно порівняти результати прогнозування для різних способів штучного впливу. Враховуючі технічні можливості використання того чи іншого способу проводиться вибір найбільш ефективного способу.

Обов'язковим фактором при прийнятті управлінського рішення є прогнозування зон ураження при випадінні атмосферних опадів з урахуванням їх інтенсивності. Для цього пропонується використовувати запропоновану нами методику [13]. Сутність якої полягає у наступному: зона ураження розділяється на три ділянки над якими відбувається випадіння опадів, для яких розраховано поправочний коефіцієнт для визначення глибини зони забруднення.

У випадку мінімізації негативних наслідків від масштабних природних пожеж за допомогою розробленої математичної моделі проводиться розрахунок динаміки зміни вологості атмосфери та горючої речовини з урахуванням параметрів зони горіння. Математичний апарат для проведення моделювання цих процесів розглянуто нами раніше [11]. Приклад результатів прогнозування представлено на рис. 2

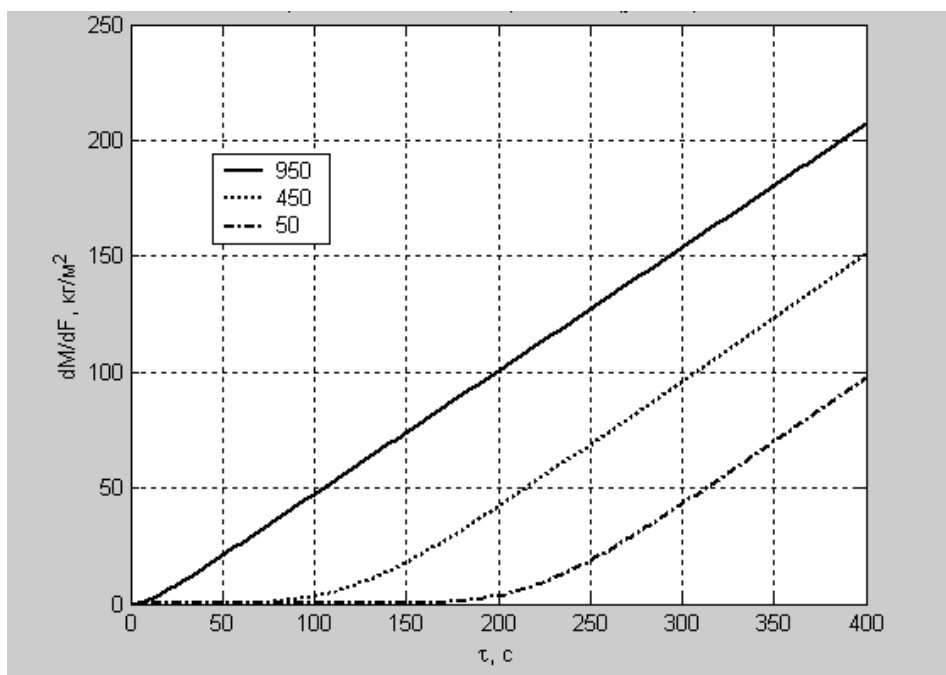


Рис. 2. Прогнозування кількості опадів на різних висотах, при його випаровування в атмосфері

Результати моделювання визначають площу пожежі під впливом опадів та, відповідно, інтенсивність викиду продуктів горіння в атмосферу.

Для розрахунків визначаючих критеріїв отриманих моніторингових даних недостатньо, деякі параметри необхідно визначати з довідникових джерел та бази експериментальних даних. Додаткова база даних, разом з підсистемою моніторингу та елементами прогнозування розвитку НС складають геоінформаційну систему.

Отримані результати прогнозування дозволяють керівнику ліквідації зони ураження атмосфери від НС прийняти відповідні управлінські рішення по мінімізації наслідків негативного впливу від НС в залежності від обраного методу штучного впливу на опади.

При виборі хімічного методу впливу за умов достатньої прогнозованої інтенсивності опадів для мінімізації негативних наслідків від НС особа, що приймає рішення, визначає:

- території пріоритетного захисту (ТПЗ) (наприклад, населені пункти);
- територію безпечного розміщення особового складу та техніки N_{safe} , S_{safe} , W_{safe} , E_{safe} ;
- тип реагенту в залежності від метеоумов (гігроскопічні, льодоутворюючі) та виду хімічного забруднення (для нейтралізації та ефективного осадження небезпечних речовин);
- необхідну кількість реагенту в залежності від потужності хмари, її водності та вологозапасу, а також концентрації небезпечних речовин в атмосфері, які необхідно нейтралізувати;
- спосіб доставки реагенту – при умові великої площі засіву та значної кількості необхідного реагенту рекомендується задіяти пілотовані літаки; у випадку невеликої кількості необхідного реагенту, а також при відсутній наявності у розпорядженні літаків рекомендується використання безпілотних літальних апаратів; за умови складної метеорологічної обстановки та можливої небезпеки пілотам рекомендується використання малогабаритних ракет.

Отриманні за результатами моніторингу данні, результати проведеного прогнозування та прийнятті управлінські рішення передаються у підсистему виконання рішення (рис. 3).

Керівник підсистеми виконання рішення, в залежності від обраного способу доставки реагенту, проводить:

- при використанні ракет:
 - визначення кількості ракет відповідного класу;
 - визначення координат та висоти зон засіву;
 - визначення безпечних зон пусків ракет;
 - постановку задач операторам пусків ракет.

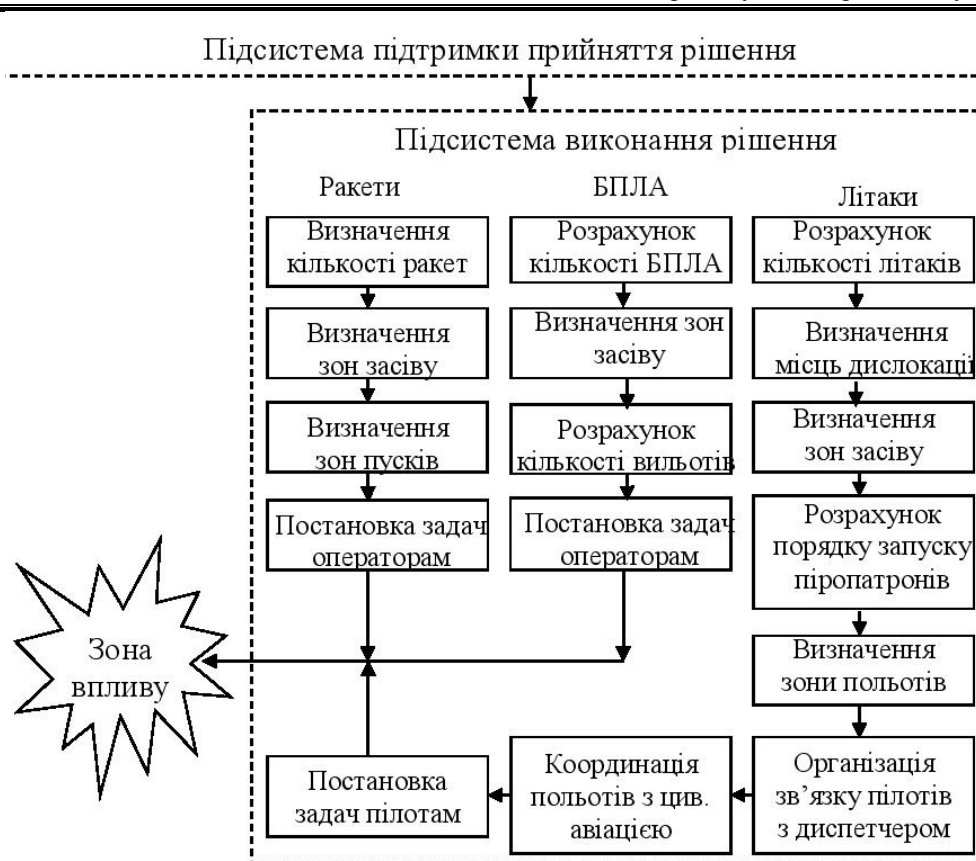


Рис. 3. Алгоритм реалізації процедури хімічного впливу на процеси штучного ініціювання опадів над зоною ураження від надзвичайної ситуації та нейтралізації впливу небезпечних отруйних речовин

- при використанні БПЛА:
 - розрахунок кількості задіяних БПЛА, виходячи з наявної кількості;
 - визначення координат та висоти зон засіву;
 - розрахунок кількості вильотів, враховуючи розміри зони засіву та кількість та вантажопідйомність задіяних БПЛА;
 - постановку задач операторам БПЛА.
- при використанні пілотованих літаків:
 - розрахунок необхідної кількості літаків;
 - визначення наявної кількості літаків та їх місця дислокації;
 - визначення координат та висоти зон засіву;
 - розрахунок періодичності запуску піропатронів в залежності від їх типу та необхідної концентрації реагенту;
 - визначення безпечної зони польотів. Забороняється прольоти літаків крізь зону хімічного чи радіаційного забруднення та під засіяними хмарами для запобігання потрапляння блискавки в літак;
 - організацію зв'язку пілотів з диспетчером та керівником польотів;
 - координацію польотів з диспетчерами цивільної авіації;

- постановку задач пілотам.

Виконавцями проводиться активний вплив на зону хмарності з урахуванням інерції від періоду засіву до початку випадіння опадів (15-30 хв.) та швидкості і напрямку вітру.

Якщо керівником ліквідації атмосферного забруднення приймається рішення про доцільність електромагнітного впливу на процеси опадоутворення, то він визначає:

- території пріоритетного захисту (ТПЗ) (наприклад, населені пункти);
- територію безпечного розміщення особового складу та техніки N_{safe} , S_{safe} , W_{safe} , E_{safe} ;
- зону заборони польотів (flight ban zone (FBZ)) та повідомляє про це у авіаційну диспетчерську службу.

На базі отриманої інформації про можливість використання електромагнітних способів ініціювання опадів керівник підсистеми реалізації управлінського рішення визначає:

- кількість та вид задіяних випромінювачів $N(A)$, $N(B) \dots N(Z)$;
- потужність роботи випромінювачів (P).

У випадку використання стаціонарних випромінювачів проводиться їх комутація та синхронізація роботи (рис. 4), у випадку використання пересувних випромінювачів проводиться їх розміщення на встановлені позиції та синхронізація їх роботи.

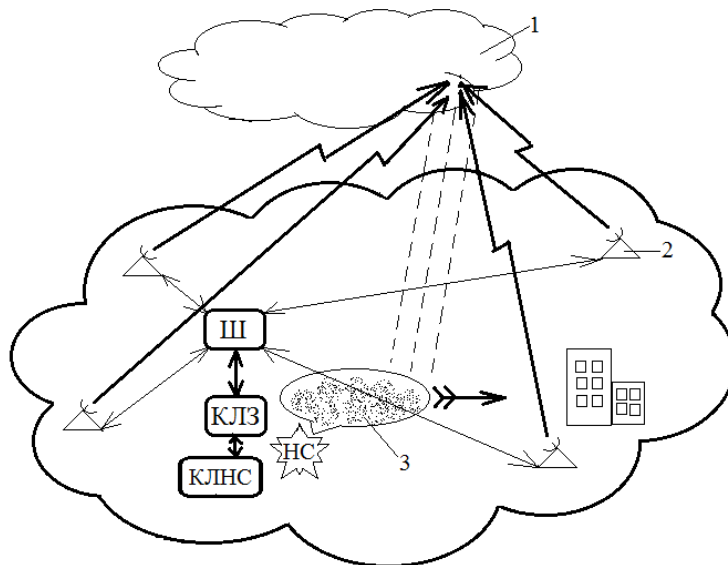


Рис. 4. Узагальнена схема розміщення випромінювачів для захисту атмосфери над локальною територією: 1 – дощова хмара; 2 – стаціонарні станції електромагнітного випромінювання; 3 – зона ураження атмосфери; КЛНС – керівник ліквідації надзвичайної ситуації; КЛЗ – керівник ліквідації зони забруднення; Ш – штаб активного впливу на атмосферу (керівник підсистеми реалізації управлінського рішення визначає)

Стаціонарні електромагнітні випромінювачі можуть розташовуватись по регіональному принципу по всій території держави на територіях аеропортів або поблизу об'єктів підвищеної небезпеки (ОПН), які є

потенційними джерелами забруднення атмосфери. Пересувні системи електромагнітного впливу можуть базуватись на окремій території по принципу розміщення аварійно-рятувальних загонів спеціального призначення (АРЗСП) ДСНС України.

Керівник підсистеми реалізації управлінського рішення повинен мати можливість обміну оперативної інформації з керівником ліквідації зони ураження та швидко реагувати на зміну обстановки в зоні НС.

Початок електромагнітного впливу на хмару здійснюється за умов знаходження хмари над зоною атмосферного забруднення та відповідного стану хмари (параметри процесу уточнюються у керівника ліквідації зони атмосферного забруднення) переважно з боку території пріоритетного захисту.

Контроль ефективності осадження забруднення проводиться шляхом моніторингу стану зони атмосферного ураження, який необхідно проводити лише за зоною роботи випромінювачів.

При забезпеченні умов безпеки для населення та навколишнього середовища, або при неможливості забезпечення опадів необхідної інтенсивності, активний вплив на хмари припиняється.

Висновки. Розроблена узагальнена процедура штучного ініціювання опадів забезпечує оперативне прогнозування динаміки формування зони ураження від надзвичайної ситуації під впливом штучно ініційованих опадів при аваріях з викидом небезпечних хімічних речовин, аваріях на об'єктах атомної енергетики та при масштабних природних пожежах. Узагальнена процедура передбачає проведення моніторингу атмосфери над зоною НС, включаючи зону забруднення та зону хмарності, прийняття необхідних управлінських рішень з вичерпним переліком необхідних даних, формалізацію управлінського рішення з визначенням способу доставки реагенту в зону впливу та алгоритм залучення літаків, БПЛА та ракет до доставки та розпилення реагенту в зоні засіву, визначення зон розміщення випромінювачів та їх параметрів роботи з використанням як схем стаціонарного розміщення випромінювачів, так і схем з пересувними системами електромагнітного випромінювання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Козлов В.Н. Искусственное регулирование осадков. / Козлов В.Н., Емельянова Н.А., Коршун Н.А. // Saarbrucken Deutschland. - Изд.: LFP LAMBERT Academic Publishing. – 2013. – 372 с.

2. Кустов М.В. Частичная ионизация воздуха в поле мощного радиоизлучения / М.В. Кустов, Л.Ф. Черногор // Вісник ХНУ ім. В.Н. Каразіна. – Харків, 2015. – № 1147. Серія «Екологія», вип. 12. – С. 99-105.

3. Кустов М.В. Модификация пиротехнических составов для эффективного осаждения из атмосферы вредных веществ / М.В. Кустов,

В.Д. Калугин // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Х.: НУЦЗУ, 2016. – Вип. 24. – С. 77–81.

4. Кудинов В.А. Современные концепции глобальной экологической безопасности / В.А. Кудинов, Е.С. Бабий, А.В. Кудинова // Проб. Одес. політех. ун-ту. – 2012. – Вип.1. – С. 276–281.

5. Азаренко Е.В. Проблема управления экологической безопасностью прибрежных вод и пути ее решения / Е.В. Азаренко, Ю.Ю. Гончаренко, М.М. Дивизинюк // Системи обробки інформації. – Харків: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба. – 2012. – Вип. 2(100). – С. 271–275.

6. Болотских М.В. Научные основы эффективного предупреждения и борьбы с чрезвычайными ситуациями и стихийными бедствиями / М.В. Болотских, М.В. Орешкин, П.В. Шелихов, Е.П. Луганцев. – Луганск: ЛНАУ. – 2004. – 34 с.

7. Калугін В.Д. Розробка науково-технічних основ для створення системи моніторингу, попередження та ліквідації надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру та забезпечення екологічної безпеки / В.Д. Калугін, В.В. Тютюнник, Л.Ф. Черногор, Р.І. Шевченко // Системи обробки інформації. – Харків: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2013. – Вип. 9(116). – С. 204 – 216.

8. Кустов М.В. Прогнозирование эффективности очистки атмосферы от твёрдых продуктов горения / М.В. Кустов // Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист. – Київ: ІГНС НАН України, 2015. – Вип. 9. – С. 78-91.

9. Кустов М.В. Экспериментальное исследование интенсивности осаждения аэрозольных продуктов горения атмосферными осадками / М.В. Кустов // Екологічна безпека. – Кременчуг: КНУ, 2015. – Вип. 2(20). – С. 84–90.

10. Кустов М.В. Влияние межчастичных взаимодействий на процесс осадкообразования в искусственно ионизированной области атмосферы. / М.В. Кустов, В.Д. Калугин // Пожежна безпека. – Львів: ЛДУБЖД, 2013. – №. 23. – С. 94-101.

11. Шаршанов А.Я. Моделирование атмосферных осадков для определения их противопожарного потенциала / А.Я. Шаршанов, М.В. Кустов // Проблемы пожарной безопасности. – Х.: НУЦЗУ, 2013. – Вип. 34. – С. 186–193.

12. Наказ МНС України, Мінагрополітики України, Мінекономіки України, Мінекології України від 27.03.2001 року № 73/82/64/122 «Про затвердження методики прогнозування наслідків розливу (виброса) небезпечних хімічних речовин при аваріях на промислових об'єктах і транспорті»: [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/z0326-01/page>.

13. Кустов М.В. Дополнения к методикам прогнозирования зон химического и радиационного загрязнения территории / М.В. Кустов // Проблемы надзвичайних ситуацій. – Харків: НУЦЗУ, 2016. – Вип. 23. – С. 67-77.

Отримано редколегією 07.09.2017

М.В. Кустов, В.Д. Калугин, В.В. Тютюник

Обобщенная процедура искусственного инициирования осадков над зоной поражения от чрезвычайных ситуаций

Разработана обобщенная процедура минимизации последствий негативного воздействия на атмосферу от чрезвычайных ситуаций (ЧС) техногенного и природного характера, которая включает алгоритмы подсистем поддержки принятия решения и выполнения управленческого решения в рамках общей системы. Основой подсистемы поддержки принятия решения является прогнозирование динамики зон химического или радиационного загрязнения, прогнозирования интенсивности осадков при различных способах искусственного осадкообразования и прогнозирования эффективности влияния осадков на динамику изменения зон загрязнения.

Ключевые слова: система воздействия на ЧС, алгоритм действий, прогнозирование последствий, принятие решения, формализация задач, активное воздействие на ЧС.

M.V. Kustov, V.D. Kalugin, V.V. Tutunik

The generalized procedure for the artificial initiation of precipitation over the zone of damage from emergency situations

The generalized procedure for minimizing the consequences of the negative impact on the atmosphere from emergencies (ES) of anthropogenic and natural character, which includes algorithms of decision support subsystems and implementation of management decisions within the framework of the common system, is developed. The basis of the decision support subsystem is the forecasting of the dynamics of zones of chemical or radiation contamination, forecasting the intensity of precipitation under various methods of artificial sedimentation and predicting the effectiveness of precipitation influence on the dynamics of changes in pollution zones.

Keywords: the system of impact on the ES, the algorithm of actions, the forecasting of consequences, the decision-making, the formalization of tasks, the active impact on the ES.