

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

ПІДСИСТЕМА МІНІМІЗАЦІЇ НАСЛІДКІВ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ДЛЯ АТМОСФЕРИ, ЯКА ПОБУДОВАНА НА БАЗІ МЕТОДІВ ШТУЧНОГО ОПАДОУТВОРЕННЯ

Розроблено фізичну модель процесу мінімізації негативних наслідків надзвичайних ситуацій для атмосфери на базі методів штучного опадоутворення. Ця модель є основою підсистеми мінімізації наслідків надзвичайних ситуацій в рамках функціонуючої в Україні Єдиної державної системи цивільного захисту. Розроблена методика мінімізації наслідків надзвичайних ситуацій для атмосфери з використанням існуючих технічних ресурсів в Україні.

Ключові слова: Єдина державна система цивільного захисту, підсистема мінімізації наслідків надзвичайних ситуацій для атмосфери, зона ураження атмосфери, штучно ініційовані опади, збитки від надзвичайних ситуацій.

Постановка проблеми. Для успішної ліквідації на території України наслідків надзвичайних ситуацій (НС) природного та техногенного характеру необхідна цілеспрямована державна політика у сфері цивільного захисту (ЦЗ) та функціонування ефективного інструменту з її реалізації – Єдина державна система цивільного захисту (ЄДСЦЗ), яка становить сукупність органів управління, сил і засобів центральних та місцевих органів виконавчої влади, виконавчих органів рад, підприємств, установ та організацій [1]. Ефективна робота ЄДСЦЗ забезпечується наявністю ефективних підсистем функціонування всіх галузей ЦЗ. При виникненні НС першочерговим завданням є мінімізація наслідків НС. Відповідно, розробка ефективної підсистеми мінімізації наслідків НС для навколишнього середовища є актуальною проблемою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Серед основних об'єктів навколишнього середовища, на яке впливають наслідки надзвичайної ситуації, є повітря, вода та ґрунт. Згідно Закону України про охорону навколишнього природного середовища [2] пріоритет серед цих об'єктів має повітря. Такий саме висновок можна зробити, порівнявши гранично допустимі концентрації небезпечних речовин у повітрі [3], воді [4], та ґрунті [5]. Це пов'язано з часом існування живих істот, насамперед людини, без доступу до цих складових навколишнього середовища та швидкості розповсюдження зони забруднення. Відповідно при виникненні НС першочерговим завданням є мінімізація наслідків НС для атмосфери.

На сьогоднішній день 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 (ДСМД), що діє відповідно до постанови Кабінету Міністрів України [6]. Створення такої системи передбачено на законодавчому рівні [2].

Локалізація шкідливих речовин у місцях їхнього утворення здійснюється шляхом очищення викидів від шкідливих речовин в апаратах очищення, встановлених у випускній системі, збору шкідливих речовин, їхнього безпечного зберігання та захоронення [7].

Як видно з аналізу, існуючі системи спрямовані на запобігання небезпечних викидів в атмосферу та не дозволяють забезпечити належний рівень захисту населення, територій та навколишнього середовища при виникненні надзвичайних ситуацій (НС) техногенного та природного характеру. Така концепція забезпечення безпеки повністю себе виправдує при нормальних умовах життєдіяльності, тому що набагато простіше технічно й економічно менш витратно реалізувати систему запобігання забруднення, чим систему ліквідації забруднення. Однак при виникненні надзвичайних ситуацій природного або техногенного характеру, які відбуваються з тим або іншим ступенем ймовірності, існуючі підходи до забезпечення цивільного захисту не можуть вирішити проблему мінімізації наслідків надзвичайних ситуацій для атмосфери.

Постановка завдання та його вирішення. Метою роботи є розробка принципів побудови в рамках ЄДСЦЗ підсистеми мінімізації наслідків НС для атмосфери з використанням методів штучного опадотворення та розробка методики мінімізації наслідків НС для атмосфери з використанням наявних в Україні ресурсів.

При розробці принципів побудови підсистеми мінімізації наслідків НС для атмосфери використовувались методи електрофізичного та хімічного впливу на атмосферні процеси [8]. Електрофізичний метод управління процесами опадотворення над зоною НС базується на уявленнях штучної дистанційної іонізації атмосфери у полі НВЧ випромінювання, що створює умови краплеутворення в певних метеорологічних межах. Метод хімічного впливу на процеси штучного ініціювання опадів над зоною НС базується на уявленнях введення в зону опадотворення хімічно активних центрів конденсації з різними поверхневими властивостями.

Задача мінімізації наслідків НС для атмосфери вирішена за допомогою методів комбінаторної оптимізації [9].

1. Принцип побудови підсистеми мінімізації наслідків НС для атмосфери

Існуюче протиріччя, яке потребує розв'язання, полягає у наступному: при виникненні НС природного та техногенного характеру небезпечні викиди в атмосферу конвективними потоками розповсюджуються на висотах до 1 км, при цьому існуючі методи та способи мінімізації наслідків НС для атмосфери здатні впливати на зону ураження на висотах до 20 м. Відповідно, існує суттєве протиріччя між зоною ураження атмосфери та зоною активної мінімізації наслідків НС для атмосфери.

Для досягнення поставленої мети розроблено фізичну модель процесу мінімізації наслідків надзвичайних ситуацій для атмосфери методами штучного опадоутворення, яка заснована 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. 1).

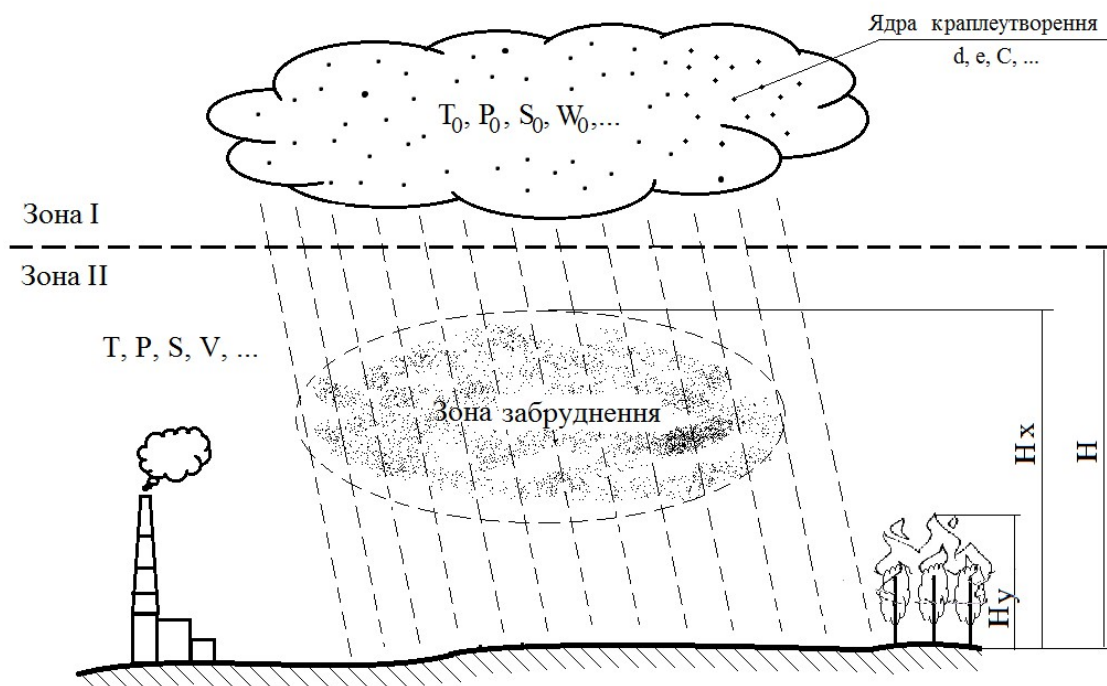


Рис. 1. Фізична модель процесу мінімізації наслідків надзвичайних ситуацій для атмосфери

До першої зони відноситься безпосередньо зона ураження атмосфери від НС. Границі зони ураження визначаються границями перевищення гранично допустимих концентрацій для хімічно небезпечних речовин та санітарними нормами експозиційної дози для радіоактивного забруднення. При НС техногенного характеру в атмосфері утворюється хмара хімічного або радіаційного ураження, яка інтенсивно збільшується до локалізації джерела викиду. При виникненні масштабних природних пожеж в атмосферу викидається значна кількість

газоподібних та аерозольних продуктів горіння. Інтенсивність викиду залежить від інтенсивності та площі горіння. Суттєвим фактором при осадженні забруднюючих речовин є їх фізичні та хімічні властивості.

За рахунок горизонтальних та вертикальних атмосферних потоків зона ураження швидко розповсюджується, що обумовлює необхідність оперативного прогнозування зони ураження в залежності від швидкості та напрямку вітру. За площею I зона співпадає з дійсною та прогнозованою зонами ураження та по висоті розповсюджується від поверхні землі до нижньої границі хмарності. В I зоні можуть знаходитись хмари хімічного та радіаційного зараження та 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. В залежності від метеорологічних умов висоти верхньої та нижньої границь II зони можуть змінюватись. В цій зоні відбувається безпосередньо процес опадоутворення, на який впливають метеорологічні умови (тиск P_0 , температура T_0 , вологість W_0 , вологозапас хмари S_0 та ін.) та властивості природних або штучних ядер краплеутворення (дисперсність d , концентрація C , електричний заряд e та ін.).

Однак наявність опадів над зоною ураження визначається метеорологічними параметрами. Для розширення меж метеорологічних умов, при яких можливі опади, пропонується застосовувати методи штучного ініціювання процесів опадоутворення, основними з яких є методи електрофізичного та хімічного ініціювання опадів над зоною ураження атмосфери [8].

2. Місце підсистеми мінімізації наслідків НС для атмосфери в ЄДСЦЗ

ЄДСЦЗ складається з постійно діючих на території України функціональних і територіальних підсистем та їх ланок – рис. 2 [1].

Для успішного функціонування підсистеми мінімізації наслідків НС для атмосфери необхідно залучення систем моніторингу місцевого, регіонального та державного рівнів [10]. Технічні засоби електрофізичного впливу на атмосферні процеси в Україні не реалізовані, але виходячи з того, що для реалізації електрофізичного методу ініціювання опадів необхідні високо потужні випромінювачі, доцільно їх концентрувати під загальнодержавним управлінням.

Для реалізації методів хімічного ініціювання атмосферних процесів необхідно залучення авіації. Вся авіація ДСНС України підпорядкована спеціалізованому авіаційному загону Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту, що базується у м. Ніжин Чернігівської області.

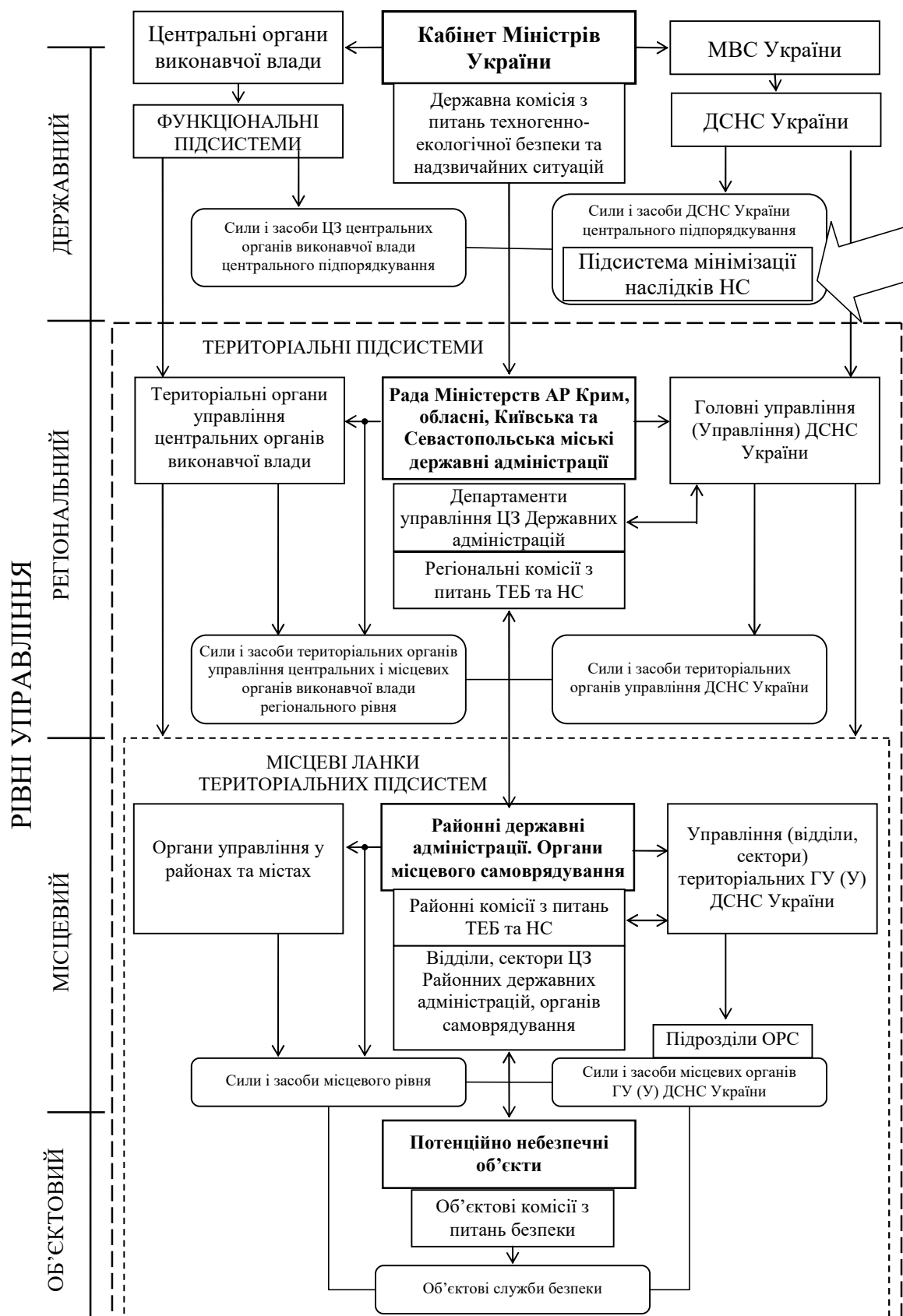


Рис. 2. Схема побудови та управління ЄДСЦЗ з включенням підсистеми мінімізації наслідків НС для атмосфери

Таким чином, підсистема мінімізації наслідків НС для атмосфери повинна входити в ланку державного рівня ЄДСЦЗ (рис. 2).

3. Методика мінімізації наслідків НС для атмосфери з урахуванням існуючих в Україні ресурсів

Однією із складових розв'язання проблеми мінімізації наслідків НС для атмосфери є задача мінімізації розмірів зони ураження. Цільовою функцією даної задачі є площа зони ураження S , яка залежить від цілого ряду параметрів. Так, залучення сил та засобів для мінімізації площі зони ураження розробленими в роботі методами потребує певних матеріальних витрат. Тому попередньо необхідно визначити зони прийняттого економічного ефекту від використання тих чи інших методів мінімізації наслідків НС в атмосфері. Для оцінки економічної ефективності використання запропонованої в роботі системи мінімізації наслідків НС для атмосфери проведена порівняльна оцінка екологічного збитку (З) від НС з економічними витратами (В) на мінімізацію розмірів зони забруднення. Умовою економічної доцільності буде такий вираз

$$З \geq В. \quad (1)$$

Оцінка збитків від НС проводиться згідно затвердженої Постановою КМ України № 175 від 15.02.2002 р «Методики оцінки збитків від наслідків надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру» [11]. Згідно Методики збитки розраховуються за формулою

$$З = Н_p + М_p + М_{п} + Р_{с/г} + М_{тв} + Р_{л/г} + Р_{р/г} + \\ + Р_{рек} + Р_{пзф} + А_{ф} + В_{ф} + З_{ф}, \quad (2)$$

де $Н_p$ – втрати життя та здоров'я населення; $М_p$ – руйнування та пошкодження основних фондів, знищення майна та продукції; $М_{п}$ – невироблення продукції внаслідок припинення виробництва; $Р_{с/г}$ – вилучення або порушення сільськогосподарських угідь; $М_{тв}$ – втрати тваринництва; $Р_{л/г}$ – втрати деревини та інших лісових ресурсів; $Р_{р/г}$ – втрати рибного господарства; $Р_{рек}$ – знищення або погіршення якості рекреаційних зон; $А_{ф}$ – забруднення атмосферного повітря; $В_{ф}$ – забруднення поверхневих і підземних вод та джерел, внутрішніх морських вод і територіального моря; $З_{ф}$ – забруднення земель несільськогосподарського призначення; $Р_{пзф}$ – збитки, заподіяні природно-заповідному фонду.

Кожна складова залежності (2) також визначається багатьма параметрами. Якщо ретельно їх проаналізувати, то видно, що площа зони ураження впливає практично на всі складові як напряму – в якості площі уражених населених пунктів, сільськогосподарських угідь, рекреаційних зон та ін., так і опосередковано – в якості кількості постраждалих людей

та тварин, якості рекреаційних зон, що потрапили в зону ураження та ін. Детальний розрахунок збитків можливо провести лише для конкретної надзвичайної ситуації, але залежність збитків від площі ураження у загальному вигляді можна представити так, як показано на рис. 3.

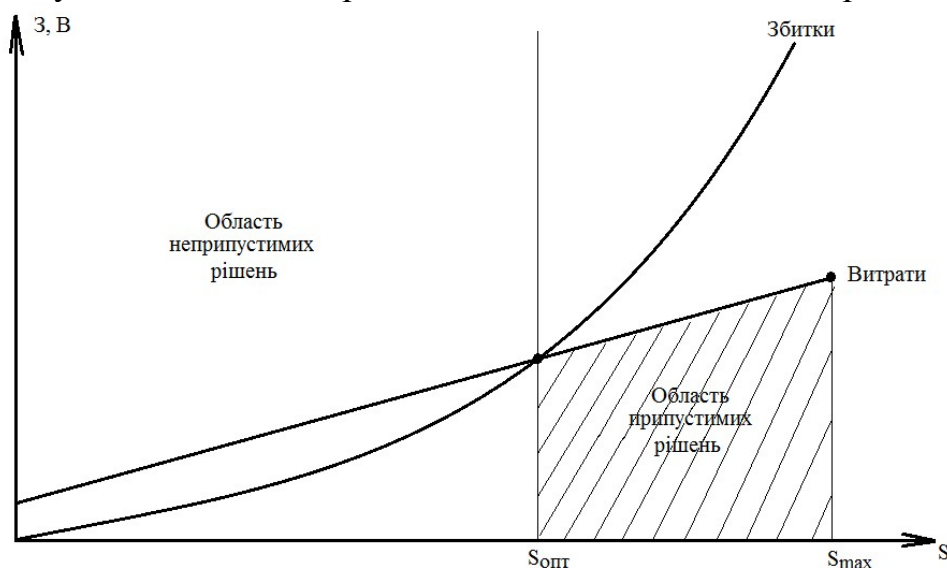


Рис. 3. Характер залежностей збитків (З) та витрат (В) в залежності від площі ураження від НС

Витрати на мінімізацію наслідків НС визначаються кількістю залучених сил та засобів, які, в свою чергу, визначаються виходячи із площі ураження, виду забруднюючої речовини, метеорологічних умов та існуючих у розпорядженні ресурсів. Оцінити кількість витрат на мінімізацію наслідків НС можливо лише для конкретного прикладу НС, але необхідна кількість сил та засобів від площі ураження має прямо пропорційну залежність, тому у загальному вигляді цю залежність можна представити так, як показано на рис. 3.

Як видно з рисунку 3, існує площа ураження ($S_{\text{опт}}$), для якої виконується умова $З = В$. Область $S < S_{\text{опт}}$ є областю неприпустимих рішень, коли витрати на мінімізацію наслідків перевищують збитки від НС.

Виходячи з цього, значення $S_{\text{опт}}$ визначає доцільність використання запропонованих в роботі методів мінімізації наслідків НС для атмосфери. Крім цього, верхньою границею площі зони ураження є наявні в Україні людські та матеріальні ресурси для мінімізації наслідків.

Змістовна постановка задачі мінімізації площі зони ураження з урахуванням існуючих в Україні ресурсів має такий вигляд: областю припустимих рішень є $S_{\text{опт}} < S < S_{\text{max}}$; вихідною умовою мінімізації є параметри умовної надзвичайної ситуації з зазначеною інтенсивністю викиду (I) та видом (A) небезпечної речовини; метеорологічні умови (вологість W_0 , тиск P_0 , температура T_0) відповідають мінімальним умовам застосування штучних методів опадоутворення; для мінімізації

наслідків можуть застосовуватись всі матеріально-технічні ресурси, придатні до цього.

Модель мінімізації площі зони ураження має такий вигляд:

$$\min_W S(I, A, W_0, P_0, T_0, N_d, N_{п/п}, N_v, L_d, \tau)$$

де W: 1) $B \leq 3$;
 2) $B \leq R$;
 3) $L_d < D_d/2$;
 4) $\tau \rightarrow \min$,

(3)

де N_d – кількість задіяних літаків для розпилення реагенту; $N_{п/п}$ – кількість піропатронів; N_v – кількість задіяних випромінювачів (в Україні відсутні стаціонарні випромінювачі достатньої потужності, тому розглядається варіант використання багатопозиційної системи пересувних випромінювачів [12]); L_d – відстань від аеродрому базування літаків до зони засіву; τ – час вільного розповсюдження зони ураження в атмосфері; R – наявний ресурс сил та засобів (визначається наявністю необхідної кількості літаків та випромінювачів); D_d – максимальна дальність польоту літака за його тактико-технічними характеристиками (ТТХ).

Методика розв'язання задачі мінімізації має такий вигляд:

1. Розрахунок часу вільного розповсюдження зони ураження у атмосфері τ (визначається часом від початку викидання небезпечної речовини до початку випадіння атмосферних опадів над зоною ураження)

$$\tau = \tau_{\text{виявл.}} + \tau_{\text{спов.}} + \tau_{\text{п.р.}} + \tau_{\text{збору}} + \tau_{\text{слід.}} + \tau_{\text{розгорт.}} + \tau_{\text{інерції}}, \quad (4)$$

де $\tau_{\text{виявл.}}$ – час виявлення надзвичайної ситуації; $\tau_{\text{спов.}}$ – час сповіщення потенціального керівника ліквідації НС; $\tau_{\text{п.р.}}$ – час прийняття управлінського рішення відповідальною особою; $\tau_{\text{збору}}$ – час збору залучених сил та засобів; $\tau_{\text{слід.}}$ – час слідування залучених сил та засобів до місця активного впливу на атмосферні процеси; $\tau_{\text{розгорт.}}$ – час розгортання технічних засобів та приготування їх до роботи; $\tau_{\text{інерції}}$ – час інерції від початку активного впливу до випадіння опадів.

Час виявлення виникнення надзвичайної ситуації залежить від класу НС. Мінімальний час виявлення буде на об'єктах атомної промисловості за рахунок великого ступеню автоматизації. Найбільший час може бути при виявленні природних пожеж в лісах та торф'яниках. Час сповіщення потенціального керівника ліквідації НС визначається часом передачі необхідної інформації по відповідним інстанціям об'єктового, місцевого, регіонального та державного рівнів. Під час прийняття управлінського рішення відповідальна особа оцінює умову

(1), визначається з кількістю залучених сил та засобів та діє по алгоритмах [13]. При цьому необхідно спрогнозувати можливу зону ураження за затвердженими методиками [14, 15] з урахуванням часу до початку процесу осадження забруднення. Час збору залучених сил та засобів визначається часом збору залучених людей та часом підготовки техніки до виїзду (вильоту) та до виконання поставлених задач. Для наземних випромінювачів на автомобільному шасі $\tau_{\text{збору}} \approx 15-20$ хв, для літаків $\tau_{\text{збору}} \approx 30-40$ хв. Час слідування до місця активного впливу визначається відстанню від місць базування (L) та швидкістю руху транспортного засобу (v). Час розгортання технічних засобів та приготування їх до роботи враховується лише для наземних пересувних випромінювачів. Літаки по прибуттю у зону впливу відразу починають засів хмари. Час інерції від початку активного впливу до випадіння опадів залежить від методу впливу та метеорологічних умов та лежить в межах $\tau_{\text{інерції}} \approx 15-30$ хв.

2. Визначення прогнозованої зони атмосферного ураження.

Користуючись даними по інтенсивності викиду (I) та часом викиду (τ) визначається кількість викинутої речовини: $S = I \cdot \tau$.

Далі за «Методикою прогнозування наслідків розливу (викиду) небезпечних хімічних речовин при аваріях на промислових об'єктах та транспорті» [14] визначаються розміри зони ураження ($S_{\text{НС}}$) та її географічні координати. Відповідно до даної методики при розрахунку розмірів зони хімічного забруднення враховується кількість викинутої хімічної речовини, температура, напрямок та ступінь вертикальної стійкості повітря.

3. Проведення оцінки належності $S_{\text{НС}}$ області припустимих рішень: $S_{\text{опт}} < S_{\text{НС}} < S_{\text{мах}}$.

4. Проведення оптимізації залучених сил та засобів для виконання умов мінімізації площі зони ураження, згідно (3).

Задача мінімізації вирішується методом комбінаторної оптимізації [9]. За рахунок того, що в задачі присутні багато параметрів, при цьому деякі їх комбінації є неможливими, то поставлену задачу (3) необхідно вирішувати методом гілок та меж, використовуючи правила відтинання.

Спочатку проаналізуємо існуючі в Україні резерви сил та засобів. За основу візьмемо кількість літаків, придатних до застосування піропатронів, та радіоелектронних випромінювачів.

Вся авіація ДСНС України підпорядкована спеціалізованому авіаційному загону Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту, що базується у м. Ніжин Чернігівської області. САЗ ДСНС України має 4 літаки АН-32П, 1 транспортний літак АН-26 та 3 гелікоптери МІ-8. Літаки АН-32П та АН-26 за своїми ТТХ можуть виконувати задачі засіву хмар реагентом. Відповідно, для моделі (3) маємо $0 \leq N_{\text{л}} \leq 5$. До основних ТТХ АН-32П відносяться: вантажопід'ємність – 6700 кг; дальність польоту – 2000 км; практична висота польоту – 9400 м. Але для

використання в якості носія пірозарядів необхідне їх додаткове обладнання двома системами відстрілу піропатронів «АСО-2И» на 320 піропатронів.

Згідно багатьох експериментальних та теоретичних даних мінімальна витрата кристалоутворюючих реагентів подібного класу становить порядку 0,3-1,2 г/км² [16]. Однак у практиці штучного ініціювання опадів рекомендується використовувати 3-5 кратний запас реагенту. Відповідно, при використанні піроскладів, для засіву 1 км² хмар необхідно 15 піропатронів.

В Україні відсутні стаціонарні радіоелектронні випромінювачі достатньої потужності, тому розглядається варіант використання багатопозиційної системи пересувних випромінювачів (БСПВ) (розділ 3). Основну частину пересувних радіолокаційних станцій (РЛС) протиповітряних військ України складають станції 1РЛ132 та 1РЛ140. Точна кількість станцій в військах ППО є закритою інформацією, при розрахунках будемо орієнтуватись на максимальну кількість 30 одиниць (відповідно $0 \leq N_v \leq 30$). Частини військ ППО України розміщені у м. Київ, м. Харків, м. Одеса, м. Севастополь, м. Васильків Київської обл. та м. Липники Львівської обл.

Сучасні РЛС обладнані власними електрогенераторами, тому приймаємо повну забезпеченість випромінювачів необхідною кількістю електроенергії. Використання багатопозиційної системи випромінювачів дозволяє забезпечити об'єм зони впливу близько $20 \cdot 10^6 \text{ м}^3$ з площею горизонтального перерізу 1200 м².

Базуючись на результатах аналізу ресурсної бази України проведено розв'язок задачі (3) за деревом рішень рис. 4.

Додатковими обмеженнями моделі є максимальна кількість піропатронів на 1 літаку – 320 шт., а також неможливість працювати в одній зоні літакам та випромінювачам.

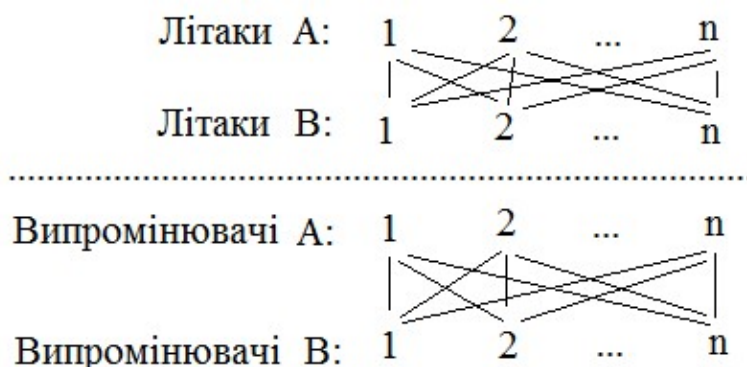


Рис. 4. Дерево рішень, що використовується у методі гілок та меж для розв'язання задачі мінімізації наслідків НС для атмосфери

Розглянемо можливості використання запропонованої методики на прикладі аварії на Чорнобильській АЕС з відомими параметрами аварії.

Прийmemo додаткові умови з урахуванням залучення сил та засобів САЗ ДСНС України у м. Ніжин Чернігівської області: $\tau_{\text{виявл.}} = 0$ хв; $\tau_{\text{спов.}} = 20$ хв; $\tau_{\text{п.р.}} = 20$ хв; $\tau_{\text{збору.}} = 20$ хв; $\tau_{\text{слід.}} = 17$ хв; $\tau_{\text{розгорт.}} = 0$ хв; $\tau_{\text{інерції.}} = 25$ хв. Таким чином, час вільного розповсюдження радіоактивної хмари у атмосфері становить – $\tau = 102$ хв.

Користуючись параметрами аварії у перші години [17] та методикою розрахунку зони радіоактивного забруднення [15] визначаємо площу зони ураження атмосфери через 102 хв (рис. 5).

На даному етапі аварії виконується умова $S_{\text{НС}} < S_{\text{max}}$. Виходячи з того, що аварія не локалізована та продовжується викид радіоактивних речовин виконується і умова $S_{\text{опт}} < S_{\text{НС}}$.

Розрахуємо необхідну кількість піропатронів:

$$N_{\text{п/п}} = 15 \cdot 23 = 345 \text{ шт.}$$

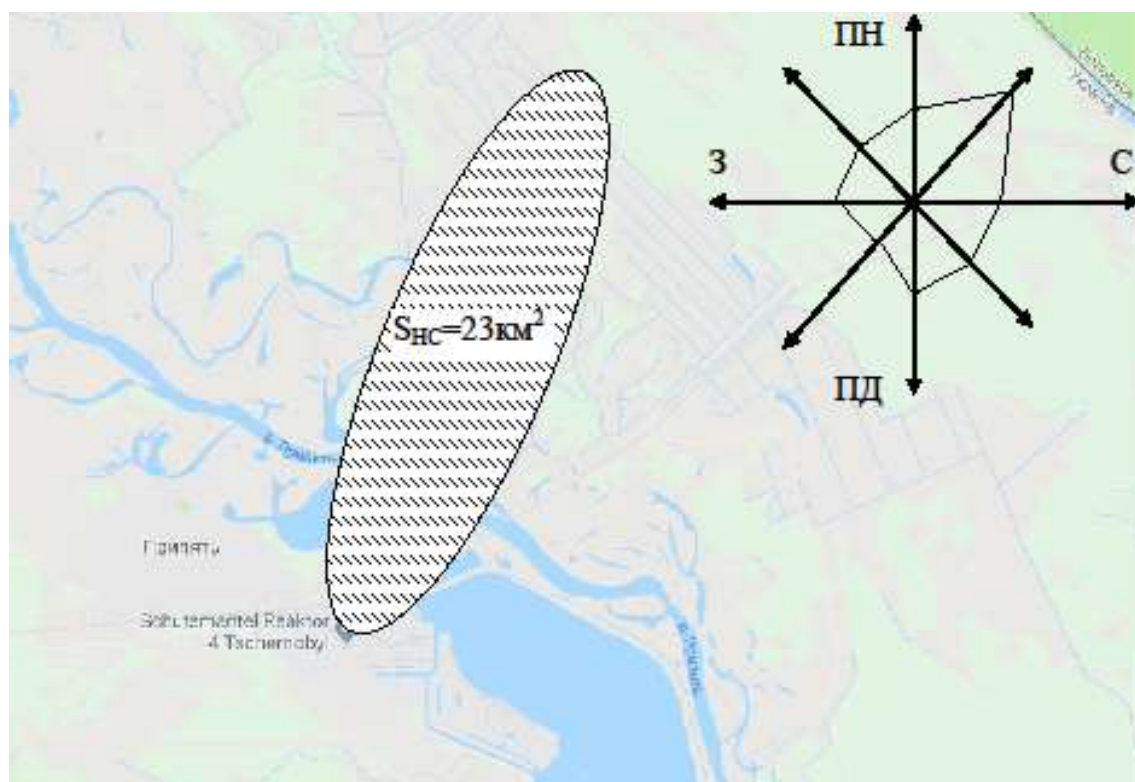


Рис. 5. Зона радіоактивного забруднення атмосфери під час аварії на Чорнобильській АЕС на момент 102 хв від вибуху реактора: $S_{\text{НС}} = 23 \text{ км}^2$

Відповідно, для мінімізації наслідків аварії на Чорнобильській АЕС необхідно задіяти 2 літака АН-32П. Однак, так як викид радіоактивних речовин в атмосферу із зруйнованого реактору продовжувався більше 102 хв, то доречно організувати позмінну роботу груп по 2 літаки. При несприятливих метеорологічних умовах для хімічного методу інтенсифікації опадів необхідно додатково оцінити можливість використання електрофізичного методу.

Висновки. 1. Запропоновано принцип побудови підсистеми мінімізації наслідків НС для атмосфери шляхом використання методів штучного опадоутворення, яка заснована на принципі розподілу зон атмосфери на зону ураження та область активного впливу на атмосферні процеси. 2. Визначено взаємозв'язок підсистеми мінімізації наслідків НС для атмосфери, як ланки державного рівня, в функціонуючій в Україні Єдиній державній системі цивільного захисту. 3. Вперше розроблена методика мінімізації наслідків НС для атмосфери з визначенням граничних умов застосування методів штучного впливу на атмосферні процеси та існуючих ресурсів сил та засобів України.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кодекс цивільного захисту України від 2 жовтня 2012 року № 5403-VI // *Голос України*. – 2012.– листопад (№ 220 (5470)). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/5403-17/page>.
2. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1991, № 41, ст. 546 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/1264-12>.
3. Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць (від забруднення хімічними та біологічними речовинами). ДСП 201-97. – [Діє від 1997-07-09]. – Наказ Міністерства охорони здоров'я України № 201. – 43 с.
4. Санітарні правила і норми охорони поверхневих вод від забруднення. СанПіН 4630-88. – [Діє від 1988-07-04]. – Наказ Міністерства охорони здоров'я СРСР № 4630. – 37 с.
5. Гранично допустимі концентрації хімічних речовин у ґрунті (ГДК). – [Діє від 1980-10-30]. – Наказ Міністерства охорони здоров'я СРСР № 2264. – 12 с.
6. Постанова Кабінету Міністрів України від 30.03.1998 року № 391 „Про затвердження Положення про державну систему моніторингу довкілля” [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/391-98-п>.
7. Данилов-Данильян В.И. Экология, охрана природы и экологическая безопасность / В.И. Данилов-Данильян. – М.: МНЭПУ. 1997. – 367 с.
8. Кустов М.В. Современные способы искусственного инициирования осадков для ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций / М.В. Кустов // Харьков, – 2016. – 130 с.
9. Стоян Ю.Г. Математические модели и оптимизационные методы геометрического проектирования / Ю.Г. Стоян, С.В. Яковлев. – Киев: Наук. думка, 1986. – 268 с.

10. Андронов В.А. Научно-конструкторские основы создания комплексной системы мониторинга чрезвычайных ситуаций в Украине: Монография / В.А. Андронов, М.М. Дивізінюк, В.Д. Калугін, В.В. Тютюник. – Х.: НУЦЗУ, 2016. – 319 с.

11. Сподобаев Ю.М. Основы электромагнитной экологии / Ю.М. Сподобаев, В.П. Кубанов. – М.: Радио и связь, 2000. – 240 с.

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

13. Кустов М.В. Узагальнена процедура штучного ініціювання опадів над зоною ураження від надзвичайних ситуацій / М.В. Кустов, В.Д. Калугін, В.В. Тютюник // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Х.: НУЦЗУ, 2017. – Вып. 26. – С. 87–96.

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

15. Методика по прогнозированию и оценке радиоактивного загрязнения воздуха, почвы, водных объектов, а также возможных доз облучения в случае радиационных аварий на АЭС для различных вариантов метеорологических условий. М.: Госкомгидромет. – 1988. – 100 с.

16. Мадьякин Ф.П. Пиротехнические составы для активного воздействия на переохлажденные облака и туманы: учеб. пособие / Ф.П. Мадьякин. – Казань, 1979. – 43 с.

17. UNSCEAR 2000. Exposures and effects of the Chernobyl accident (Annex J). New York: United Nations [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.unscear.org/docs/reports/annexj.pdf>.

Отримано редколегією 9.02.2018

М.В. Кустов, А.Н. Соболев, В.В. Тютюник, В.Д. Калугін

Подсистема минимизации последствий чрезвычайных ситуаций для атмосферы, построенной на базе методов искусственного осадкообразования

Разработана физическая модель процесса минимизации негативных последствий чрезвычайных ситуаций для атмосферы на базе методов искусственного осадкообразования. Эта модель является основой подсистемы минимизации последствий чрезвычайных ситуаций в рамках функционирующей в Украине Единой государственной системы гражданской защиты. Разработана методика минимизации последствий чрезвычайных ситуаций для атмосферы с использованием существующих технических ресурсов в Украине.

Ключевые слова: Единая государственная система гражданской защиты, подсистема минимизации последствий чрезвычайных ситуаций для атмосферы, зона поражения атмосферы, искусственно инициированные осадки, убытки от чрезвычайных ситуаций.

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

The consequences of emergency situations for the atmosphere minimizing subsystem, built on the basis of methods of artificial sedimentation

In the event of an emergency, the primary task is to minimize the consequences of emergencies. Existing systems are aimed at preventing dangerous emissions into the atmosphere and do not allow to provide an adequate level of protection of population, territories and the environment in the event of emergencies of technological and natural origin.

The purpose of the work is to develop principles for building a subsystem of minimizing the consequences of the emergency for the atmosphere using the methods of artificial precipitation and the development of a method for minimizing the consequences of the emergency for the atmosphere using the available resources in Ukraine within the framework of the Unified State Civil Defense System (USCDS).

In developing the principles of constructing a subsystem of minimizing the effects of emergency for the atmosphere, methods of electrophysical and chemical influence on atmospheric processes were used.

To achieve this goal, the physical model of the process of minimization of the consequences of emergency situations for the atmosphere by methods of artificial precipitation has been developed, which is based on the principles of sorption by falling drops of atmospheric precipitation of polluting chemical and radioactive substances in gaseous, liquid and solid aerosol states.

The principle of construction of the subsystem of minimization of the consequences of the emergency for the atmosphere is proposed, using methods of artificial precipitation, which is based on the principle of the distribution of atmospheric zones on the zone of damage and the region of active influence on atmospheric processes. The interconnection of the subsystem of minimization of the consequences of emergency for the atmosphere, as links of the state level, in the functioning of the USCDS in Ukraine is determined.

The task of minimizing the consequences of the emergency for the atmosphere is solved by combinatorial optimization methods. For the first time, a method has been developed for minimizing the consequences of the emergency for the atmosphere with the determination of the boundary conditions for the application of artificial influence methods on atmospheric processes and existing resources of Ukraine's forces and means.

Keywords: Unified state civil defense system, consequences of emergency situations for the atmosphere minimization subsystem, the atmosphere destruction zone, artificially initiated precipitation, losses from emergency situations.