

NATURE MANAGEMENT, RESOURCE SAVING AND ECOLOGY

Тютюник Вадим Володимирович

доктор технічних наук, старший науковий співробітник, начальник
кафедри управління та організації діяльності у сфері цивільного захисту
Національний університет цивільного захисту України, Україна

Захарченко Юлія Вадимівна

аспірантка

Український науково-дослідний інститут екологічних проблем, Україна

ОСОБЛИВОСТІ ОЦІНКИ ЕКОЛОГІЧНОЇ ОБСТАНОВКИ В РАЙОНІ НАДЗВИЧАЙНОЇ СИТУАЦІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Анотація. Представлено науково-технічні основи для технічної реалізації системи оперативного моніторингу рівня забруднення екосистеми безпілотними літальними апаратами (БПЛА) внаслідок аварій на потенційно небезпечних об'єктах (ПНО) та об'єктах підвищеної небезпеки (ОПН). Ця система характеризується тим, що для підвищення оперативності моніторингу сумісно застосовуються безпілотні повітряні засоби та наземні автоматизовані пристрої контролю факторів небезпеки НС.

Сформовано динамічну модель об'єданого застосування БПЛА та наземних пристроїв контролю факторів екологічної небезпеки, де доставка автоматизованих пристроїв контролю у зону небезпеки виконується за допомогою БПЛА.

Ключові слова: рівень забруднення екосистеми, моніторинг зони забруднення екосистеми, модель оперативного моніторингу, безпілотний літальний апарат, доставка автоматизованих пристроїв контролю у зону небезпеки.

Забезпечення стану стабільного функціонування природно-техногенно-соціальної системи України в умовах територіально-часового розподілу ПНО та ОПН, а також в умовах прояву екологічної нестабільності, є актуальним напрямком підвищення ефективності функціонування Єдиної державної

системи цивільного захисту України (ЄДСЦЗ) [1]. Одним із ключових засобів забезпечення безпеки функціонування ПНО та ОПН є врахування досвіду експлуатації, що включає в себе проведення обліку та аналізу порушень у роботі ПНО та ОПН, впровадження коригувальних заходів для усунення виявлених причин і запобігання повторення порушень, а також проведення оперативного моніторингу рівня забруднення екосистеми прилеглих до ПНО та ОПН зон.

Слід відзначити, що при виникненні аварії на ПНО та ОПН необхідно здійснити оперативну побудову поля забруднення екосистеми із заданою точністю, що забезпечить: прийняття обґрунтованих управлінських рішень стосовно необхідної кількості сил та засобів для ліквідації наслідків аварії; здійснення заходів евакуації населення із зони забруднення з урахуванням визначення шляхів евакуації з мінімальною їх довжиною в зоні забруднення.

Для досягнення необхідної точності під час побудови поля забруднення екосистеми необхідно застосовувати регулярну сітку з відомими значеннями рівня забруднення у вузлах, що дозволить використати відомі методи інтерполяції. Разом з тим, у зоні навколо ПНО та ОПН можуть функціонувати стаціонарні пости моніторингу, які мають нерегулярне розміщення, що унеможливорює забезпечення необхідної точності при побудові поля забруднення.

Таким чином, актуальною науково-прикладною проблемою є розробка моделей та методів проведення оперативного оцінки екологічної обстановки в районі надзвичайної ситуації внаслідок аварії на ПНО та ОПН. Одним із шляхів вирішення даної проблеми є застосування БПЛА для здійснення оперативної побудови поля забруднення із заданою точністю, де безперервний та тривалий у реальному масштабі часу оперативний моніторинг за зоною забруднення екосистеми здійснюється за рахунок: а) сумісного об'єднання у систему моніторингу БПЛА та стаціонарних наземних постів моніторингу; б) оперативної доставки у зону забруднення екосистеми БПЛА; в) здійснення за допомогою БПЛА безперервного та тривалого у реальному масштабі часу моніторингу за зоною забруднення екосистеми; г) отримання й обробки

інформації від стаціонарних наземних постів моніторингу та БПЛА диспетчерським пунктом, який розташовано на наземній рухомій платформі (штабний автомобіль, пожежно-рятувальний автомобіль, автомобіль патрульної поліції, автомобіль радіаційної, хімічної та біологічної розвідки, бронетранспортер, машина військової розвідки, тягач тощо) [2, 3].

Розроблену нами функціональну схему цієї системи оперативного моніторингу за зміною меж зони забруднення екосистеми, рівнем небезпеки в ній та прогнозування виникнення нових ризиків представлено на рис. 1. Вона включає класичну підсистему моніторингу, ситуаційний центр та підсистему виконання рішення [4].

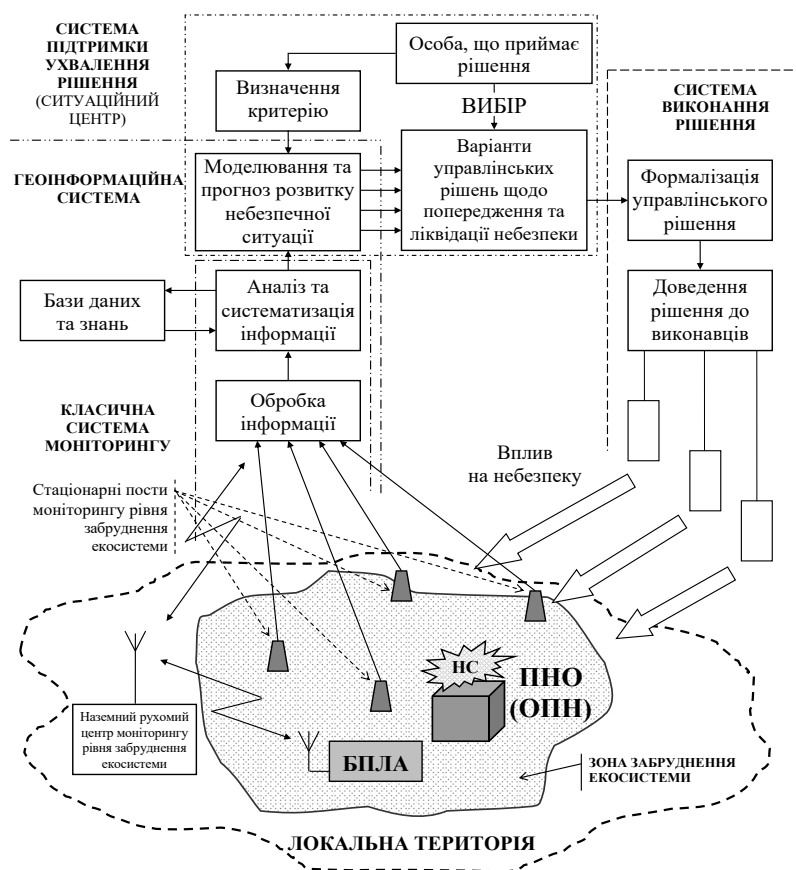


Рис. 1. Комплексна функціональна схема системи оперативного моніторингу рівня забруднення екосистеми БПЛА внаслідок аварій на ПНО та ОПН

Формулювання моделі об'єднаного застосування стаціонарних постів моніторингу рівня забруднення екосистеми (у режимі повсякденного

функціонування ПНО та ОПН) та БПЛА (у режимах аварійної та надзвичайної ситуацій на ПНО та ОПН) здійснено на основі аналізу ефективності функціонування стаціонарних постів моніторингу радіоактивного забруднення навколо об'єктів ядерної енергетики (ОЯЕ) [5, 6].

Нехай задано об'єкт ядерної енергетики – Рівненська АЕС, що представлена на рис. 2 у вигляді точки $A(0,0)$. Стаціонарні пости радіаційного моніторингу, які розташовано у тридцяти кілометровій зоні навколо ОЯЕ, та проводять оцінку радіаційної небезпеки для екосистеми у режимі повсякденного функціонування ОЯЕ, мають вигляд множини точок $P_m(x_m, y_m)$, $m = 1, \dots, N_s$, де N_s – кількість стаціонарних постів радіаційного моніторингу.

Необхідно визначити мінімальну кількість N БПЛА, яка застосовується для проведення аварійного моніторингу радіоактивного забруднення екосистеми внаслідок аварії на АЕС, при цьому мають виконуватися наступні обмеження: побудова поля радіоактивного забруднення екосистеми має здійснюватися із заданою точністю ε ; час на побудову поля забруднення з урахуванням розгортання систем БПЛА має не перевищувати гранично припустимого T^* ; регулярна сітка $S(2R, s_x, s_y, w_x, w_y)$ має будуватися з урахуванням вектору напрямку вітру $\vec{w} = (w_x, w_y)$, причому основою сітки є квадрат (рис. 3), в який вписане коло радіусу R (як правило $R = 30$ км) із центром у точці $A(0,0)$. Радіус кола визначається за допомогою наступної умови: сітці мають належати стаціонарні наземні пости радіаційного моніторингу $P_m(x_m, y_m)$, $m = 1, \dots, N_M$; БПЛА F_{ij} , $i = 1, \dots, N_F$ (N_F – кількість видів БПЛА), $j = 1, \dots, N_i$ (N_i – кількість БПЛА i -го виду), $N = \sum_{i=1}^{N_F} N_i$, мають розміщуватися на визначених місцях $V_k(x_k, y_k)$, $k = 1, \dots, N_k$, та в процесі польоту фіксують дозу гамма-випромінювання у вузлах сітки.

Мають також враховуватися технічні характеристики кожного виду БПЛА, а саме, швидкість, час польоту, максимальна дальність польоту, час розгортання тощо.

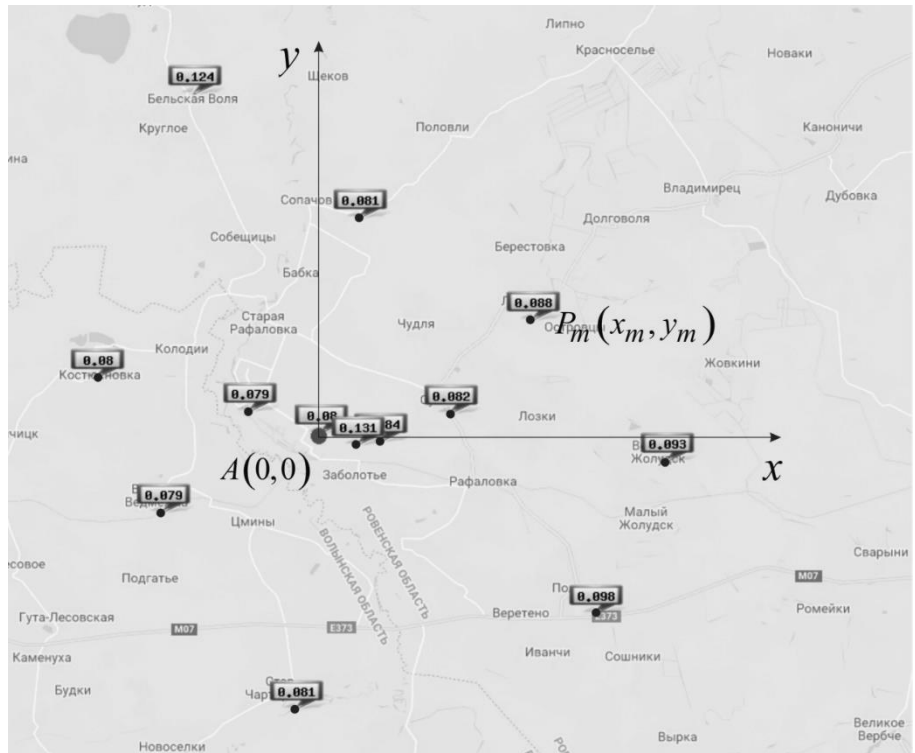


Рис. 2. Схема розташування Рівненської АЕС та стаціонарних постів радіаційного моніторингу у тридцяти кілометровій зоні навколо станції

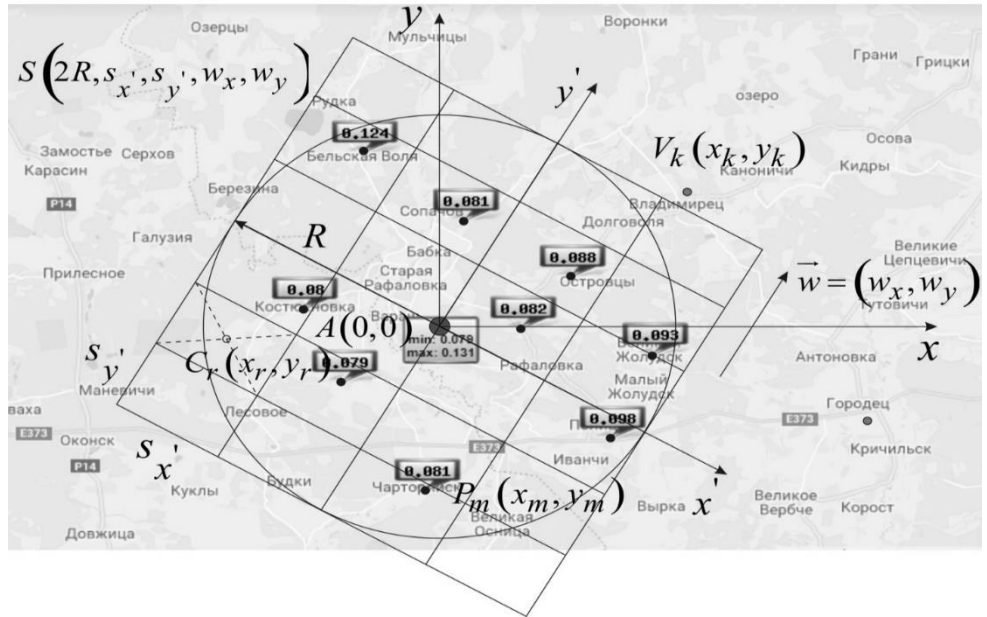


Рис. 3. Побудова регулярної сітки для реконструкції поля радіоактивного забруднення

Таким чином, модель аварійного моніторингу радіоактивного забруднення внаслідок аварії на АЕС за допомогою безпілотних літальних апаратів має наступний вид:

$$\min_W N(L), \quad (1)$$

де W :

$$\frac{|\Phi_{q+1}(C_r) - \Phi_q(C_r)|}{\Phi_q(C_r)} \leq \varepsilon; \quad r = 1, \dots, N_c; \quad (2)$$

$$\frac{|\Phi_{q+1}(P_m) - \Phi(P_m)|}{\Phi(P_m)} \leq \varepsilon; \quad m = 1, \dots, N_M; \quad (3)$$

$$\max T(l_{ij}) \leq T^*; \quad i = 1, \dots, N_F; \quad j = 1, \dots, N_i; \quad L = \sum_{i=1}^{N_F} \sum_{j=1}^{N_i} l_{ij}; \quad (4)$$

$$P_m(x_m, y_m) \in S(2R, s_x, s_y, w_x, w_y); \quad m = 1, \dots, N_M; \quad (5)$$

$$F_{ij} \in V_k(x_k, y_k); \quad i = 1, \dots, N_F; \quad j = 1, \dots, N_i; \quad N = \sum_{i=1}^{N_F} N_i; \quad k = 1, \dots, N_k. \quad (6)$$

Вираз (1) являє собою цільову функцію, причому L – сумарна довжина польоту БПЛА. Обмеження (2) та (3) являють собою умову побудови поля забруднення із заданою точністю ε . Тут $C_r(x_r, y_r)$ – точки, що знаходяться на перетину діагоналей кожної комірки сітки, причому кількість комірок дорівнює N_c ; $\Phi_q(C_r)$ та $\Phi_{q+1}(C_r)$ – значення поля забруднення у відповідних точках на q та $q+1$ ітераціях; $P_m(x_m, y_m)$ – стаціонарні пости радіаційного моніторингу, кількість яких дорівнює N_M ; $\Phi(P_m)$ – рівень гамма-випромінювання, зафіксований стаціонарними постами радіаційного моніторингу. Обмеження (4) являє собою умову побудови поля забруднення протягом часу T , який залежить від маршрутів l_{ij} БПЛА F_{ij} і не перевищує заданого T^* . Обмеження (5) являє собою умову належності постів радіаційного моніторингу регулярній сітці $S(2R, s_x, s_y, w_x, w_y)$. Обмеження (6) описує належність БПЛА F_{ij} фіксованим місцям їх розміщення $V_k(x_k, y_k)$, $k = 1, \dots, N_k$.

Таким чином, задача, яка описується сумою положень (1)÷(6), є комбінованою, тобто відноситься як до класу задач комбінаторної оптимізації, так і до класу задач трасування.

Особливості моделі аварійного моніторингу радіоактивного забруднення за допомогою БПЛА внаслідок аварії на АЕС: цільова функція визначається в процесі розв'язання задачі; обмеження (2)÷(4) є нелінійними, а (5) та (6) – дискретними; загальна кількість обмежень дорівнює $N_c + 2N_M + 2N_F N_i$.

Слід відзначити, що для визначення початкових розмірів комірки регулярної сітки S_x та S_y можна скористатися, наприклад, дослідженням поля радіоактивного забруднення внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС. Далі, в процесі розв'язання задачі, розміри комірки коригуються відповідно до обмежень (2) та (3).

Запропонована у самому загальному вигляді динамічна модель оперативного моніторингу рівня забруднення екосистеми внаслідок аварій на об'єктах ядерної енергетики потребує подальшого ретельного дослідження та можливого спрощення по складовим її обмеженням.

Список джерел:

1. Кодекс цивільного захисту України від 2 жовтня 2012 року № 5403-VI. Голос України 2012. листопад (№ 220 (5470)). С. 4–20.
2. Тютюник В.В., Калугін В.Д., Іванець Г.В., Іванець М.Г., Захарченко Ю.В. Оцінка ефективності покриття території надзвичайної ситуації за допомогою автоматизованих пристроїв контролю небезпечних факторів при їх розкиданні із зависаючого над точкою скидання безпілотного літального апарату. Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист. Київ: Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України. 2016. Вип. 10. С. 34 – 43.
3. Іванець Г.В., Тютюник В.В., Калугін В.Д., Поспелов Б.Б., Захарченко Ю.В. Алгоритм оцінки ефективності покриття території надзвичайної ситуації автоматизованими пристроями контролю небезпечних факторів при їх розкиданні з безпілотного літального апарату в умовах нестабільностей повітряного середовища. Проблеми надзвичайних ситуацій. Харків: Національний університет цивільного захисту України. 2017. Вип. 25. С. 45–56.
4. Андронов В.А., Дівізінюк М.М., Калугін В.Д., Тютюник В.В. Науково-конструкторські основи створення комплексної системи моніторингу надзвичайних ситуацій в Україні. Харків: Національний університет цивільного захисту України, 2016. 319 с.

5. Тютюнник В.В., Соболев О.М., Калугін В.Д., Захарченко Ю.В. Формування динамічної моделі оперативного моніторингу рівня забруднення екосистеми внаслідок аварій на об'єктах ядерної енергетики. Екологічна безпека та природокористування. Київ: Київський національний університет будівництва і архітектури, Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України. 2020. № 1(33). С. 95–114.
6. Соболев О.М., Захарченко Ю.В., Тютюнник В.В., Калугін В.Д., Квасов В.А. Модель оперативного моніторингу рівня забруднення екосистеми за допомогою безпілотних літальних апаратів. Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки. Харків: Український науково-дослідний інститут екологічних проблем, Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна. 2020. Вип. 42. С. 178–199.