

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ І ГЛОБАЛЬНОГО ІНФОРМАЦІЙНОГО
ПРОСТОРУ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

НАГОРНИЙ ЄВГЕН ІГОРОВИЧ

УДК 004:504.5:628.4.047

ДИСЕРТАЦІЯ

**ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ
ПРИ ВИНИКНЕННІ НЕБЕЗПЕЧНОГО РАДІАЦІЙНОГО
ЗАБРУДНЕННЯ МІСЦЕВОСТІ**

122 – «Комп'ютерні науки»

Галузь знань 12 – Інформаційні технології

Подається на здобуття ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело



Є. І. Нагорний

Науковий керівник:
Триснюк Василь Миколайович
доктор технічних наук, професор

АНОТАЦІЯ

Нагорний Є.І. Інформаційні технології підтримки прийняття рішень при виникненні небезпечного радіаційного забруднення місцевості. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки» – Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору Національна академія наук України, Київ, 2024.

Дисертаційна робота присвячена розробленню моделей та методів рекомендаційної підтримки прийняття рішень для збору і обробки інформації при виникненні радіаційного забруднення місцевості з метою контролю екологічної безпеки території.

У дисертаційній роботі вирішено наукове завдання, підвищення достовірності інформаційної та функціональної безпеки радіаційного забруднення місцевості, на основі використання мобільних комплексів геоінформаційних та аерокосмічних технологій.

У дисертаційній роботі розв'язана актуальна науково-прикладна задача розроблення теоретичних і прикладних засад побудови інформаційних технологій прийняття рішень при виникненні радіаційного забруднення місцевості, в якій джерелом впливу є техногенні або військові небезпеки.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, розглянуто зв'язок роботи з науковими темами та актуальним напрямком наукових досліджень, сформульовані мета та завдання дослідження, розкрито наукову новизну та практичну цінність.

У першому розділі проведено аналіз існуючого стану методики виявлення радіоактивного забруднення місцевості, огляд моделей, методів та підходів, що використовуються при розробленні інформаційних технологій рекомендаційної підтримки рішень. Виконано загальний огляд рекомендаційних систем та їх видів, включаючи задачі виявлення фактичної радіаційної обстановки в

автоматизованих системах контролю за нею. На цій основі запропоновано необхідну щільність точок контролю радіаційної обстановки, що заслуговує окремого розгляду та поглибленого дослідження, що базуються на використанні модельних уявлень про формування радіоактивного сліду ядерного вибуху, радіаційних аварій, або техногенних катастроф.

Це дозволило запропонувати принципи формування нових підходів, щодо створення моделей, рекомендаційних механізмів та їх алгоритмізацію.

У другому розділі проведено дослідження оцінки послідовної параметричної адаптації моделі радіоактивного забруднення місцевості за даними радіаційної розвідки, а також розроблення алгоритмів обробки даних радіаційного забруднення місцевості в умовах недостатньої повноти вихідних даних. Вирішення цієї задачі засновані на ідеї виділення з малих вибірок вимірювань потужності дози випромінювання, за певних умов, так званої, структурної інформації про поле радіоактивного забруднення місцевості. Запропонований в роботі збільшений алгоритм послідовної параметричної адаптації прогностичної моделі показав принципову можливість формалізації цього процесу при радіаційному забрудненні місцевості від ядерних вибухів. Для підвищення достовірності прогнозу радіаційного забруднення місцевості побудовано функціональну блок-схему адаптивної системи ідентифікації образів. Ця система є стійкою по відношенню до перешкод, здатна впоратися з істотними відхиленнями розпізнаваних об'єктів і має здатність до самоналаштування, тобто вирішити завдання адаптації. Проведено уточнення параметрів осередків радіаційного забруднення по вимірних значеннях уражаючих факторів ядерного вибуху (надмірний тиск ударної хвилі, світловий імпульс, проникаюча радіація і потужність дози випромінювання). Аналіз показав, що точність визначення параметрів осередків радіаційного забруднення залежать від точності виміру уражаючих факторів, кількості точок їх виміру і виду уражаючого фактора. Так, при оцінці по одному фактору, вимірюваному в 15 різних точках, середньоквадратична похибка може досягати 34%. А для збільшення точності розрахунків потрібно буде збільшити час програмованого

рішення задачі в декілька тисяч разів. Методика послідовної параметричної адаптації передбачає як налаштування на наявну початкову інформацію, так і уточнення моделі радіаційного забруднення і місцевості по ходу надходження даних радіаційної розвідки. Запропонована у роботі методика екстраполяції потужності дози випромінювання в часі для систем автоматизованого контролю радіаційної обстановки дозволяє прогнозувати зміну характеристик поля радіоактивного забруднення місцевості на основі аналізу даних, отриманих від системи радіаційного спостереження.

У **третьому розділі** роботи розроблене спеціальне програмне забезпечення призначене для виявлення фактичного радіаційного забруднення місцевості за даними радіаційної розвідки і моніторингу, наведені розроблені моделі надання рекомендацій за допомогою правил комп'ютерної логіки. В ході роботи спеціального програмного забезпечення використовуються вихідні дані про метеоінформацію, зведення про осередки радіаційного забруднення і деяку іншу інформацію. Якщо поле радіаційного забруднення істотно відрізняється від модельного і адаптація моделі не привела до позитивних результатів, здійснюється виявлення фактичного забруднення за даними радіаційної розвідки методом лінійної оптимальної інтерполяції. Дослідження показали, що знайдені значення початкових даних параметризованої моделі повинні бути скориговані. Ця необхідність викликана тим, що використані методи адаптації мають певну похибку. Так, при визначенні координат джерела радіаційного забруднення місцевості помилка залежить від величини кроку сітки цифрованого зображення поля потужність дози випромінювання, який у свою чергу є функцією щільності точок розвідки, а точність визначення напрямку осі сліду не може бути вищою, ніж кутова апертура сканування методу аналізу сцен. У випадку, коли не вдалося адаптувати модель за даними радіаційного розвідування, всі подальші обчислення та розрахунки, пов'язані з оцінкою радіаційного забруднення місцевості, будуть здійснюватися на основі цифрованого зображення, як однорідного, ізотропного поля, що має ергодичні (транзитні) властивості. Для виділення по цифровому зображенню областей випадкового процесу, що мають

стаціонарність, керуватимемося двома правилами: похідна по напрямку не повинна змінювати свій знак у будь-якому перерізі області поля; характер зміни градієнта в локально-однорідній області поля потужності дози випромінювання має бути плавним. Використовуючи математичні моделі поля радіаційного забруднення місцевості, засновані на аналізі тимчасових рядів прогнозуємо радіаційну обстановку за даними радіаційного спостереження і розвідки, і цей метод застосовний не лише для полів, близьких до модельних, але і для структур із складною топологією.

Для перевірки працездатності методики послідовної параметричної адаптації моделі радіаційного забруднення місцевості даними радіаційної розвідки був створений програмний модуль, який дозволяє проводити адаптацію моделей при низькій щільності даних радіаційної розвідки. Такі ситуації можливі у момент початку збору даних про фактичний радіаційний фон, зокрема, коли інформація поступила лише з пунктів управління, а підрозділи радіаційної розвідки тільки приступили до ведення розвідки.

Метод послідовної параметричної адаптації моделі радіаційного забруднення місцевості за даними радіаційної розвідки дає можливість у ряді випадків уточнювати прогноз небезпечного радіоактивного забруднення і може бути використаний в цілях виявлення радіаційної обстановки. Методика, розроблена на його основі, дозволяє у декілька разів (до 3-х і більше) зменшити похибку відновлення потужності дози випромінювання. Вона може застосовуватися при щільності точок контролю значно нижче нормативних (до $0,02 \text{ км}^{-2}$). Результати моделювання радіаційної обстановки показують, що частота появи ситуацій, коли адаптація можлива, складають близько 60%

Реалізація запропонованого підходу дозволяє підвищити оперативність виявлення фактичного радіоактивного забруднення місцевості за даними розвідки в декілька сотень разів в порівнянні з рішенням завдань вручну і, як мінімум, в 5-7 разів - в існуючих автоматизованих системах.

У четвертому розділі роботи запропоновано шляхи удосконалення інформаційних технологій підтримки прийняття рішень при виникненні

радіаційного зараження. Результати проведеного дослідження дозволили: по-перше, виявити слабкі місця в функціонуванні інформаційної технології підтримки прийняття рішень; по-друге, визначити шляхи підвищення ефективності функціонування інформаційних технологій на підставі нових організаційно-технічних принципів, до яких необхідно віднести:

- удосконалення технічної бази органів управління щодо збору, обробки та обміну інформацією про радіаційну обстановку;
- автоматизацію роботи органу управління щодо збору, обробки та обміну інформацією про радіаційну обстановку.

Для оперативного та якісного вирішення задач управління, таких як здійснення маневру силами та засобами і відновлення порушеної системи, виникає необхідність включення до розвідувальних підрозділів повітряних мобільних засобів (безпілотних літальних апаратів), які обладнані засобами візуальної, телевізійної та зокрема радіаційної розвідки. Для своєчасного забезпечення інформацією про радіаційну обстановку необхідно мати 1-2 БПЛА для патрулювання та розвідки району радіаційного забруднення. Цінність отриманої із зазначених джерел інформації, при вирішенні задач управління, зростає порівняно з інформацією, що отримана наземними засобами розвідки.

Технологічний продукт дозволяє вирішувати такі важливі проблеми, як дистанційний 3D моніторинг зони спостереження та радіаційної розвідки в районі радіаційного забруднення, оцінку ризиків впливу зараження на здоров'я особового складу, які дислокуються у зоні радіаційного забруднення, забезпечення інформаційно-телекомунікаційних послуг у районах із зруйнованою або відсутньою інфраструктурою.

Ключові слова: інформаційні технології, підтримки прийняття рішень, параметрична адаптація моделі, щільність точок розвідки, небезпечне радіаційне забруднення, радіаційна розвідка місцевості, хімічна розвідка, програмне забезпечення, екстраполяція, потужність дози випромінювання, адаптивний алгоритм, Байєсівський аналіз.

Список публікацій здобувача за темою дисертації

Статті у наукових фахових виданнях України

1. Є.І. Нагорний. Інформаційні технології при побудові поля радіаційного забруднення місцевості і прогнозуванні. Екологічна безпека та природокористування, Вип. 1 (49), 2024р., с. 155-160. ISSN: 2411-4049. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2024.1.155-160>

2. Триснюк В. М., Нагорний Є. І. Використання методів інтерполяції для обробки даних радіаційної розвідки. Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій. Науковий журнал: телекомунікаційні та інформаційні технології. № 1 (82). 2024р. ISSN 2412-4338. <https://tit.dut.edu.ua/index.php/telecommunication/article/view/2514/2395>

3. Нагорний Є.І., Тертишний Б.І. Удосконалення сукупності показників оцінювання ефективності забезпечення радіаційної безпеки оперативно-тактичного угруповання військ в оборонній операції. Збірник наукових праць Національного університету оборони України “Труди університету”. Київ, 2023 р. Вип. № 7 (182). С. 79–88. Таємно інв. № 50000 т. в НУОУ.

4. В.М. Триснюк, Є.І. Нагорний, Т.В. Триснюк, О.О. Конецька, А.В. Курило. Методика виявлення радіаційного забруднення місцевості та його ризиків. Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць. Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка. Випуск 3(69) Полтава 2022. С. 112-115. ISSN 2073-7394. <http://journals.nupp.edu.ua/sunz/issue/view/90/50>

5. І.С. Мещеряков, Є.І. Нагорний, А.В. Мацько, М.М. Хомік. Функціонування системи ХБРЯ захисту у ході широкомасштабної збройної агресії рф проти України. Український військово-медичний журнал. Том 3 (4). листопад 2022 р. Київ. с. 60-66. ISSN 2708-6623 (online). <https://ujmm.org.ua/index.php/journal/article/view/309/226>. DOI: [https://doi.org/10.46847/ujmm.2022.4\(3\)-060](https://doi.org/10.46847/ujmm.2022.4(3)-060)

6. Триснюк В.М., Нагорний Є.І., Сметанін К.В., Гуменюк І.В., Уварова Т.В. Метод автентифікації користувачів до об'єктів критичної інфраструктури на основі ідентифікації особи за голосовим повідомленням. Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”. Сучасні інформаційні системи. Науковий журнал Том 4, № 3. 2020. С. 11-17. ISSN 2522-9052. http://library.kpi.kharkov.ua/files/documents/sys_2020_3.pdf

Колективна монографія

7. Trysnyuk V., Nagornyi Y., Bevziuk A., Meshcheriakov I., Nikitin A. Application domain and analysis of the existent state of methodologies of exposure radioactive and chemical contaminations of locality. Sustainable geospatial development of natural and economic systems in Ukraine: Collective monograph. Bilostok, 2020. с. 204-216. ISBN 978-83-953142-2-3. https://drive.google.com/file/d/1Wwrrf-CIRrHM-x8YsRlb1DR1byP0WuLv/view?usp=drive_link

8. Триснюк Т.В., Конецька О.О., Нагорний Є.І., Марущак В.М., Волинець Т.В., Приступа В.В. Оцінка радіаційного ризику забруднення місцевості для населення внаслідок військових дій. Challenges and threats to critical infrastructure. Detroit (Michigan, USA) – 2023. NGO Institute for Cyberspace Research, 2023. с. 163-167 ISBN-10/979-8-218-22315-1. <http://repositsc.nuczu.edu.ua/bitstream/123456789/17917/1/Monograph-09-06-2023.pdf#page=163>

9. А.А. Нікітін, Є.І. Нагорний, Р.М. Борта, Б.І. Тертишний. Розроблення алгоритму програмування за логікою методики визначення радіаційної обстановки в зоні радіоактивного забруднення внаслідок аварії на атомній електростанції. Detroit (Michigan, USA) – 2023. Collective of Authors. NGO Institute for Cyberspace Research. с. 311-318. ISBN-10/979-8-218-22315-1 http://repositsc.nuczu.edu.ua/bitstream/123456789/18603/1/Monograph_CHALLENGES-AND-THREATS.pdf

Статті в міжнародних конференціях Scopus

10. V. Trysnyuk V. Ehorov, T. Trysnyuk, V. Prystupa, Ye. Nahornyj, V. Marushchak. Improvement of The System of Automated Pointing of the Antenna to the Satellite. 16th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment, 15–18 November 2022, Kyiv, p.1 – 5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022580098>

11.V. Trysnyuk, T. Trysnyuk, I. Radchuk, L. Horoshkova, Ie. Khlobystov, Y. Nagorny. Modeling of dangerous processes of natural and man-made disasters. [21063]. European Association of Geoscientists&Engineers. Conference Proceedings, Geoinformatics, May 2021, Volume 2021, p. 1 – 6. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521063>

12.Trysnyuk V., Okhariev, V., Anpilova, Y, Trysnyuk, T., Nagorny, Y Environmental monitoring based on aerospace and terrestrial researches. XIV International Scientific Conference “Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment”, 10–13 November 2020, Kyiv, Ukraine. p.1-5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202056095>

Участь у конференціях.

13. Нагорний Є.І., Нікітін А.А., Конєцький Я.М., Пащенко Є.Ю. Виявлення радіаційного забруднення місцевості під час військових дій. Колективна монографія за матеріалами XXI-ї Міжнародної науково-практичної конференції. Інформаційно-комунікаційні технології та сталий розвиток. 14-16 листопада 2022 р. Київ С. 150-154. ISBN 978-617-7854-76-9. https://itgip.org/wp-content/uploads/2022/12/2022-12-06_UDK_book_Monografia_48x210.pdf

14. Триснюк В.М., Нагорний Є.І., Конєцький Я.М., Нікітін А.А. Оброблення інформації про радіоактивне забруднення місцевості з використанням даних ДЗЗ та ГІС. Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях: виклики 2021 року // Колективна монографія за матеріалами XX Міжнародної науково-практичної конференції. 4-8 жовтня 2021 р. / За заг. ред. С.О. Довгого. - К.: ТОВ

«Видавництво «Юстон», Київ. с.81-84. https://itgip.org/wp-content/uploads/2021/10/1_zbirka_2021.pdf

15. Мещеряков І.С., Нагорний Є.І. Навчальна система підтримки рішень із організації ліквідації наслідків РХБ-зараження. Третя міжнар. наук.-практ. конф. «Сучасні тенденції розвитку інформаційних систем і телекомунікаційних технологій», 25–26 січня 2021 р. Київ, Україна. – К.: НУХТ, 2021. – с.126-129. ISBN 978-83-956296-3-1. https://cipma.org.ua/data/conference/Conf_STRISITT03_2021-02-08.pdf

16. Хомік М.М., Бевзюк А.П., Нагорний Є.І. Аналіз стану інформаційного забезпечення систем екологічного моніторингу. 22 Всеукраїнська науково-практична конференція (за міжнародною участю) Спроможності функціональних та територіальних підсистем ЄДСЦЗ для оперативного розв’язання завдань за призначенням. 27 жовтня 2021 року Київ. с 285-288. ISBN 978-617-8015-17-6. <https://idundcz.dsns.gov.ua/upload/5/4/1/7/0/4/2020-nauka-konferencia-materiali26.pdf>

17. Триснюк В.М., Курило А.В., Охарєв В.О., Шумейко В.О., Триснюк Т.В., Сметанін К.В., Нагорний Є.І., Хабова Н.В., Зотова Л.В. Екологічна оцінка впливу сміттєзвалищ на стан поверхневих та підземних вод на основі даних ДЗЗ. Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях: тенденції 2020 року // Колективна монографія за матеріалами XIX Міжнародної науково-практичної конференції. Київ, 6-7 жовтня 2020 р., с.74–78. https://itgip.org/wp-content/uploads/2020/10/zbirka_2020_1.pdf

18. Нагорний Є.І., Шепелев Р.М. Нові виклики хімічної загрози в ході відбиття широкомасштабної збройної агресії російської федерації проти України. збір. тез доп. наук.-практ. сем. “Проблемні питання організації підтримки дій військ (сил) збройних сил України в ході відбиття широкомасштабної збройної агресії російської федерації проти України (із врахуванням досвіду проведення операції об’єднаних сил)”, 27 квітня 2023 р. (Київ, Україна). – К. : НУОУ, 2023. – С. 35-37. Інв. №18005 дск.

ANNOTATION

Nahornyi Y.I. Information decision support technologies in the event of hazardous radioactive contamination of the area. - Qualified scientific work on the rights of the manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in specialty 122 "Computer Science" - The Institute of Telecommunications and Global Information Space of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, 2023.

The dissertation is aimed at the development of models and methods of decision support for gathering and processing of data in the event of radioactive contamination of an area for environmental safety control the of the territory.

The dissertation solves the scientific task of increasing the reliability of information and functional safety of radioactive contamination of an area, based on the use of mobile complexes of geoinformation and aerospace technologies.

The dissertation solves a relevant scientific and applied task of developing theoretical and applied principles of building information technologies for decision support in the event of radioactive contamination of an area, where the source of the hazard is anthropogenic or military in nature.

The introduction justifies the relevance of the topic, discusses the connection of the work with scientific topics and the current direction of scientific research, formulates the purpose and objectives of the study, and shows scientific novelty and practical value of the study.

The first section analyses the current state of the art methodologies of detecting radioactive contamination of an area, reviews models, methods and approaches used in the development of information technologies for decision support. A general overview of recommendation systems and their types is given, including the tasks of detecting actual radiation situation in automated radiation monitoring systems. On this basis, the necessary density of radiation monitoring points is proposed, which deserves separate consideration and in-depth study based on the use of model representations of

the formation of a radioactive trace of a nuclear explosion, radiation accidents, or man-made disasters.

This made it possible to propose principles for the formation of new approaches to the creation of models, recommendation mechanisms and their algorithmization.

The second section of the paper deals with the assessment of the sequential parametric adaptation of the model of radioactive contamination of the area based on radiation reconnaissance data, as well as the development of algorithms for processing data on radioactive contamination of the area in conditions of insufficient initial data. The solution to this problem is based on the idea of extracting the so-called structural information about the field of radioactive contamination of the area from small samples of radiation dose rate measurements under certain conditions. The extended algorithm of sequential parametric adaptation of the prognostic model proposed in this work showed the fundamental possibility of formalizing this process in the case of radiation contamination of an area resulting from nuclear explosions. To improve the reliability of the forecast of radiation contamination of the area, a functional block diagram of an adaptive pattern identification system was constructed. This system is robust to interference, able to cope with significant deviations of recognized objects, and has the ability to self-tune, that is, to solve the problem of adaptation. The parameters of radiation contamination centers were refined based on the measured values of the damaging factors of a nuclear explosion (blast wave overpressure, optical and penetrating radiation, dose rate). The analysis showed that the accuracy of determining the parameters of radiation contamination centers depends on the accuracy of measuring the damaging factors, the number of measurement points, and the type of damaging factor. Thus, when assessing one factor measured at 15 different points, the root mean square error can reach 34%. In order to increase the accuracy of calculations, it will be necessary to increase the time of the programmed solution of the problem by several thousand times. The methodology of sequential parametric adaptation involves both adjusting to the available initial information and refining the model of radioactive contamination of an area as radiation reconnaissance data is received. The methodology for extrapolating the radiation dose rate in time for automated radiation

monitoring systems proposed in this work allows predicting changes in the characteristics of the radioactive contamination field based on the analysis of data obtained from the radiation surveillance system.

In the third section of the paper, we develop specialized software designed to detect actual radiation contamination of the area based on radiation reconnaissance and monitoring data, and present the developed models for providing recommendations based on computer logic rules. This specialized software uses initial data about meteorological conditions, reports on radiation contamination centers and some other information. If the radiation contamination field differs significantly from the modelled one and the model adaptation did not lead to positive results, the actual contamination is detected using radiation survey data by the method of linear optimal interpolation. Studies have shown that the found values of the initial data of the parameterized model should be adjusted. This is caused by the fact that the adaptation methods used have a certain error. Thus, when determining the coordinates of the source of radiation contamination of the area, the error depends on the grid step of the digital image of the radiation dose rate field, which in turn is a function of the density of reconnaissance points, and the accuracy of determining the direction of the trace axis cannot be higher than the angular aperture of the scanning method of scene analysis.

In the case when it was not possible to adapt the model based on radiation reconnaissance data, all further calculations and computations related to the assessment of radiation contamination of the area will be carried out on the basis of a digital image treated as a homogeneous, isotropic field with ergodic (transitive) properties. In order to identify areas of a random process that have stationarity from a digital image, we will be guided by two rules: the directional derivative should not change its sign in any section of the field; and the nature of the gradient change in a locally homogeneous area of the radiation dose rate field should be smooth. Using mathematical models of the field of radiation contamination of the area based on the analysis of time series, we predict the radiation situation based on radiation observation and reconnaissance data,

and this method is applicable not only for fields close to the model ones, but also for structures with complex topology.

To test the performance of the methodology for sequential parametric adaptation of the radiation contamination model from radiation reconnaissance data, a software module was created that allows model adaptation at low density of radiation reconnaissance data. Such situations are possible at the beginning of data collection about the actual radiation background, in particular, when information is received only from command centers and radiation reconnaissance units have just started conducting reconnaissance.

The method of sequential parametric adaptation of the model of radiation contamination of an area based on radiation reconnaissance data makes it possible in some cases to refine the forecast of hazardous radioactive contamination and can be used to detect the radiation situation. The methodology developed on its basis makes it possible to reduce the error in radiation dose rate reconstruction by several times (up to 3 or more). It can be used at the density of control points significantly below the standard (up to 0.02 km⁻²). The results of modelling of the radiation situation show that the frequency of situations when adaptation is possible is about 60%.

The implementation of the proposed approach allows to increase the efficiency of detecting actual radioactive contamination of the area based on reconnaissance data by several hundred times compared to solving tasks manually and at least 5-7 times in existing automated systems.

Section 4 of the paper proposes ways to improve information technologies for decision support systems in the event of radioactive contamination.

The results of the study made it possible to: first, identify weaknesses in the functioning of decision support information technology; second, identify ways to improve the efficiency of information technology based on new organizational and technical principles, which include:

improvement of the technical base of management bodies for collecting, processing and exchanging information on the radiation situation;

automation of the management body's work on collecting, processing and exchanging information on the radiation situation.

For the prompt and high-quality solution of command and control tasks, such as maneuvering of personnel and materiel and restoring the disrupted system, it is necessary to include air mobile vehicles (unmanned aerial vehicles) equipped with visual, television and, in particular, radiation reconnaissance means in reconnaissance units. To provide timely information on the radiation situation, it is necessary to have 1-2 UAVs for patrolling and reconnaissance of the radiation contamination area. The value of the information obtained from these sources in solving command and control tasks is higher than the information obtained by ground-based reconnaissance means.

The technological product allows solving such important problems as remote 3D monitoring of the observation area and radiation reconnaissance in the area of radioactive contamination, assessment of the risks of contamination impact on the health of personnel deployed in the area of radiation contamination, and provision of information and telecommunication services in areas with destroyed or missing infrastructure.

Keywords: information technologies, decision support, parametric model adaptation, density of reconnaissance points, hazardous radiation contamination, radiation reconnaissance of the area, chemical reconnaissance, software, extrapolation, dose rate, adaptive algorithm, Bayesian analysis.

ЗМІСТ

	ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	21
	ВСТУП.....	22
РОЗДІЛ 1	АНАЛІЗ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ ВИНИКНЕННІ НЕБЕЗПЕЧНОГО РАДІАЦІЙНОГО ЗАБРУДНЕННЯ МІСЦЕВОСТІ.....	29
1	1.Аналіз існуючого стану методики виявлення небезпечного радіоактивного забруднення місцевості.....	29
1.1	Постановка задачі виявлення радіаційної обстановки в автоматизованих системах контролю.....	29
1.2	Інтелектуальні системи обробки даних радіаційної розвідки і виявлення радіоактивного забруднення місцевості.....	31
1.3	Методи прогнозування радіоактивного забруднення місцевості при виникненні надзвичайних ситуацій	34
1.3.1	Модель поширення радіоактивної хмари в приземному шарі атмосфери.....	36
1.3.2	Модель апроксимації радіоактивного забруднення місцевості.....	41
1.3.3	Застосування квазістаціонарного підходу Пасквилла- Гиффорда при поширенні радіоактивних домішок в приземному шарі.....	43
1.4	Методи виявлення радіоактивного забруднення місцевості за даними радіаційної розвідки.....	46
1.4.1	Інтерполяційні методи для обробки даних радіаційної розвідки.....	46
1.4.2	Застосуванням сплайн-апроксимації для обробки даних радіаційної розвідки.....	49

1.4.3	Застосування методу стохастичної апроксимації для опису поля радіоактивного забруднення місцевості.....	54
1.4.4	Використання методу лінійної оптимальної інтерполяції для обробки даних радіаційної розвідки.....	56
1.5	Визначення кореляційних зв'язків між різними перерізами поля радіоактивного забруднення місцевості.....	63
1.5.1	Апроксимація структурної функції для опису поля радіоактивного забруднення місцевості.....	63
1.5.2	Використання автокореляційної функції для опису поля радіоактивного забруднення місцевості.....	65
	Висновки до розділу 1.....	73
РОЗДІЛ 2	ТЕХНОЛОГІЯ ОЦІНКИ ПОСЛІДОВНОЇ ПАРАМЕТРИЧНОЇ АДАПТАЦІЇ РАДІОАКТИВНОГО ЗАБРУДНЕННЯ МІСЦЕВОСТІ ЗА ДАНИМИ РОЗВІДКИ.....	75
2.1	Модель радіоактивного забруднення місцевості, що параметризується.....	76
2.2	Аналіз інформаційних ситуацій під час надходження даних радіаційної розвідки місцевості.....	85
2.3	Алгоритм послідовної параметричної адаптації при різних інформаційних ситуаціях	88
2.4	Уточнення вихідних даних параметризованої моделі радіоактивного забруднення місцевості.....	92
2.4.1	Уточнення вихідних даних параметризованої моделі, при достатній щільності вимірювань потужності дози випромінювання.....	92
2.4.2	Уточнення вихідних даних параметризованої моделі, за наявності компактної множини вимірювань потужності дози випромінювання.....	102

2.4.3	Уточнення вихідних даних параметризованої моделі, на малих вибірках вимірювань потужності дози випромінювання	104
2.5	Результати, що отримуються при обробці даних радіаційної розвідки місцевості.....	105
	Висновки до розділу 2.....	107
РОЗДІЛ 3	ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ ВИНИКНЕННІ РАДІАЦІЙНОГО ЗАБРУДНЕННЯ МІСЦЕВОСТІ.....	108
3.1	Призначення і цілі розробки спеціального програмного забезпечення.....	108
3.2	Критерії оцінки адекватності параметризованої моделі ліквідації наслідків аварії	110
3.3	Інформаційні технології для уточнення меж локально-однорідної області поля потужності дози випромінювання.....	114
3.3.1.	Суть методу оптимальної лінійної інтерполяції.....	114
3.3.2	Оцінка адекватності уточненого цифрового зображення поля потужності дози випромінювання.....	118
3.4	Екстраполяція характеристик поля радіоактивного забруднення місцевості в часі з урахуванням вимірних значень потужності дози випромінювання.....	121
3.5	Функціональні можливості спеціального програмного забезпечення для моделювання радіаційної обстановки.....	125
3.5.1	Моделювання даних радіаційної розвідки.....	125
3.5.2	Алгоритм формування цифрового зображення поля потужності дози випромінювання методом лінійної оптимальної інтерполяції.....	128
3.5.3	Програмний модуль параметричної адаптації моделі радіоактивного забруднення місцевості	129

3.6	Технології моделювання радіоактивного забруднення місцевості та метеоумов.....	130
3.6.1	Моделювання радіоактивного забруднення місцевості та метеоумов.....	130
3.6.2	Моделювання радіоактивного забруднення місцевості за модельними і реальними даними.....	134
3.6.3	Реалізація методу аналізу тимчасових рядів для екстраполяції потужності дози випромінювання в часі.....	137
	Висновки до розділу 3.....	140
РОЗДІЛ 4	УДОСКОНАЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ ВИНИКНЕННІ РАДІАЦІЙНОГО ЗАБРУДНЕННЯ.....	141
4.1	Використання методу інтерполюючого полінома для визначення виду вагової функції.....	141
4.2	Уточнення прогнозу радіоактивного забруднення місцевості в динаміці формування сліду.....	144
4.3	Можливі напрями розвитку спеціального математичного і програмного забезпечення завдань обробки даних радіаційної розвідки.....	159
4.4	Графічне відображення результатів виявлення радіоактивного забруднення місцевості.....	153
4.5	Шляхи удосконалення інформаційних технологій підтримки прийняття рішень при виникненні радіаційного зараження.....	156
4.6.	Рекомендації щодо підвищення ефективності інформаційних технологій за рахунок удосконалення технічної бази.....	161
	Висновки до розділу 4.....	167
	ВИСНОВКИ.....	169
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	171

	20
ДОДАТКИ.....	178
ДОДАТОК А. Акт впровадження.....	179
ДОДАТОК Б. Дані радіаційної розвідки місцевості в районі Чорнобильської АЕС.....	185
ДОДАТОК В. Результати виявлення фактичної радіаційної обстановки на Чорнобильській АЕС.....	191
ДОДАТОК Г. Результати оптимізації параметрів методу лінійної оптимальної інтерполяції.....	195
ДОДАТОК Д. Швидкість (м/сек.) переносу переднього фронту хмари зараженого повітря в залежності від швидкості вітру.....	198
ДОДАТОК Е. Розміри прогнозованих зон зараження місцевості	198

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АСКРО – автоматизована система контролю радіаційної обстановки

АСУ – автоматизована система управління

ЄДАСКРО – єдина державна автоматизована система контролю радіаційної обстановки

ИРГ – інертні радіоактивні гази

ІСПУР – інтелектуальна система підтримки прийняття рішення

КМ – компактна множина

ЛОО – локально-однорідна область

ПДВ – потужність дози випромінювання

МЛОІ – метод лінійної оптимальної інтерполяції

ППА – послідовна параметрична адаптація

ПУ – пункт управління

РЗМ – радіоактивне забруднення місцевості

РО – радіаційна обстановка

РХБ – радіаційний, хімічний і біологічний

РХБЗ – радіаційний, хімічний і біологічний захист

РХР – радіаційна, хімічна розвідка

с.к.в. – середнє квадратичне відхилення

СМПЗ – спеціальне математичне і програмне забезпечення

СОД – система обробки даних

ТВЕЛ – тепловиділяючий елемент

ХНП – хімічний спостережливий пост

ЕОМ – електронно-обчислювальна машина

ЕОТ – електронно-обчислювальна техніка

ЯЕР – ядерний енергетичний реактор

ВСТУП

Актуальність теми. Питання безперервного контролю радіаційної обстановки (РО) і своєчасного виявлення радіоактивного забруднення місцевості (РЗМ) продовжують залишатися актуальними і сьогодні. Це обумовлено двома факторами: збільшенням кількості об'єктів ядерної енергетики, як джерела дешевої енергії, і активізацією сил російського екстремізму, що здійснює масовані військові дії по території України. Сьогодні існує загроза масованої атаки терористів на об'єкти атомної енергетики, підприємства ядерного паливного циклу, а також могильники радіоактивних відходів. Як показує практика, превентивні заходи захисту не завжди виявляються ефективними. Таким чином, можливе виникнення ситуації, коли значні території можуть піддатися радіоактивному забрудненню одночасно від декількох осередків. Виявлення радіоактивного забруднення місцевості буде першим завданням ліквідації наслідків подібних ситуацій. Виявлення РЗМ може здійснюватися за допомогою прогнозу і на основі фактичних даних радіаційної розвідки і спостереження.

При прогнозуванні використовуються зведення про осередки радіоактивного забруднення і метеорологічна інформація. Цей процес досить добре формалізований і його практична реалізація не представляє великих труднощів в автоматизованих системах контролю радіаційної обстановки (АСКРО). Проте достовірність подібного прогнозу залежатиме від відповідності вживаної математичної моделі цій конкретній аварії і від точності вихідних даних. Як показує практика, дані прогнозу не завжди задовільно відповідають реальній радіаційній обстановці.

Чинними керівними документами пропонується обов'язкове уточнення прогнозу даними розвідки. Проте сьогодні відсутнє практично реалізоване програмне забезпечення для автоматизованих систем контролю радіаційної обстановки і системи управління відходами, що дозволяють комплексно вирішувати задачу по виявленню і оцінці радіаційної обстановки. В першу чергу

це стосується ситуацій коли щільність точок контролю нижча нормативної. На сучасному рівні ефективно вирішувати такі завдання можна тільки спираючись на експертні системи, що будуються на базі сучасних програмно-обчислювальних комплексів, що дозволяють прогнозувати поведінку об'єктів, що вивчаються, в реальному режимі часу. Такі комплекси, як правило створюються на базі робочих комп'ютерних станцій з розгалуженим призначенням для користувача інтерфейсом вхідних і вихідних даних. Неодмінною умовою успішної роботи комплексів є їх реальне наповнення вихідними даними до моменту їх активації і далі на всьому протязі аварії. Найбільш сучасного і ефективного для вирішення цього завдання на об'єктовому рівні являється інформаційно вимірювальна система “Кільце”, яка входить складовою частиною в систему радіаційного контролю на АЕС і призначена для безперервного контролю радіаційної обстановки. Аналіз останніх досліджень і публікацій доводить, що питаннями інформаційних технологій підтримки прийняття рішень при виникненні небезпечного радіаційного забруднення місцевості займалися вчені: Яковлев Є. О., Азімов О. Т., Горбулін В. П., Красовський Г. Я., Лялько В. І., Трофимчук О. М., та інші.

Різні за цільовим призначенням автоматизовані системи управління, контролю радіаційної обстановки та Єдина автоматизована система виявлення і оцінки масштабів і наслідків застосування зброї масового ураження передбачають обробку даних про радіаційний захист місцевості і відповідну інформаційну взаємодію. У зв'язку з цим, математичне і програмне забезпечення обробки інформації про РЗМ в цих системах повинні розроблятися на єдиній концепції, що забезпечує тотожність отримуваних результатів. Науково-прикладна задача розроблення теоретичних і прикладних засад побудови інформаційних технологій комплексної оцінки природно-техногенної системи, в якій джерелом впливу є сміттєзвалище та оцінку достовірності передачі інформації.

Таким чином, **актуальність теми** обумовлена вирішенням науково-прикладної задачі розробленням теоретичних і прикладних засад побудови

інформаційних технологій розроблення методів і алгоритмів обробки даних про радіаційне забруднення місцевості в автоматизованій системі контролю радіаційної обстановки і системах управління відходами, при малій щільності точок контролю.

Метою дисертаційної роботи є розроблення єдиної системи моделей та методів обробки інформації про радіоактивне забруднення місцевості в автоматизованій системі контролю радіаційної обстановки при малій щільності точок контролю в інтересах уточнення прогнозу та прийняття рішень, щодо радіаційної обстановки.

Об'єкт дослідження – процеси автоматизації підтримки прийняття рішень, щодо радіоактивного забруднення місцевості в умовах техногенезу, аварій і катастроф.

Предмет дослідження – моделі та методи обробки інформації про радіоактивне забруднення місцевості при малій щільності точок контролю.

Для досягнення мети були поставлені наступні **завдання**:

- удосконалити існуючі методичні підходи та методи контролю підтримки прийняття рішень при виникненні небезпечного радіаційного забруднення місцевості в природно-техногенній системі;

- дослідити оцінку виявлення фактичного радіоактивного забруднення місцевості за даними прогнозу і радіаційної розвідки в автоматизованій системі контролю радіаційної обстановки і системах управління відходами;

- розробити математичні моделі послідовної параметричної адаптації радіоактивного забруднення місцевості за даними радіаційної розвідки при малій щільності точок контролю, використовуючи апіорну інформацію про осередки радіоактивного забруднення і метеоумови у момент формування поля РЗМ;

- розробити методи екстраполяції потужності дози випромінювання в часі для автоматизованої системи контролю радіаційної обстановки, коли безпосереднє визначення коефіцієнта спаду потужності дози випромінювання викликає ускладнення;

- розробити адаптивний алгоритм обробки даних радіаційної розвідки на основі методу лінійної оптимальної інтерполяції;

Методи дослідження. В дослідженнях використано теоретичні та практичні експериментальні методи, методи математичної статистики, методи ДЗЗ-ГІС технологій та методи математичного моделювання для: прогнозування радіоактивного забруднення місцевості; виявлення радіоактивного забруднення місцевості при різній щільності точок контролю; виявлення радіоактивного забруднення місцевості при різній щільності вихідних даних; екстраполяції потужності дози випромінювання в часі.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Наукові результати дисертації отримані в межах програми науково-дослідних робіт на базі Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору Національної академії наук України та реалізовані у тематиках: «Розробка засобів інформаційно-аналітичної підтримки завдань забезпечення стійкості об'єктів критичної інфраструктури в регіональній соціоєкосистемі за умов зростання природних, техногенних і соціальних загроз» (№ ДР 0121U109216), «Розробка обчислювальних технологій та методів моделювання для дослідження нестационарних процесів.» (№ РК 0116U000793 державної реєстрації) «Розробка інформаційної технології моделювання і прогнозування розвитку соціально-еколого-економічних систем в умовах невизначеності, нестационарності та ризику» (№ ДР 0121U100132).

«Розробка та аналіз засобів теоретико-ігрового моделювання стратегій збалансованого технологічного розвитку територій» (№ РК 0116U000796 державної реєстрації); в межах науково-дослідної роботи «Дослідження асиміляційного потенціалу поверхневих вод, геологічного середовища та приземної атмосфери в умовах техногенезу» (№ ДР 0113U004982)., Закону України «Про основні засади (стратегію) державної економічної політики України на період до 2030 р.», програми Європейської «Зеленої угоди».

Наукова новизна одержаних результатів:

- вперше розроблено математичні моделі послідовної параметричної адаптації радіоактивного забруднення місцевості за даними радіаційної розвідки при малій щільності точок контролю, використовуючи апріорну інформацію про осередки радіоактивного забруднення і метеоумови;
- вперше розроблено методи екстраполяції потужності дози випромінювання в часі для автоматизованої системи контролю радіаційної обстановки на основі методу лінійної оптимальної інтерполяції;
- вперше розроблено алгоритм формування цифрового зображення поля радіоактивного забруднення місцевості, які використовуються для відображення зон забруднення, небезпечних в радіаційному відношенні;
- удосконалено існуючі методичні підходи та методи контролю підтримки прийняття рішень при виникненні небезпечного радіаційного забруднення місцевості в природно-техногенній системі;
- набула подальшого розвитку єдина система методів і алгоритмів обробки інформації про радіоактивне забруднення місцевості при виявленні радіаційної обстановки в АСКРО і СУВ при малій щільності точок контролю з урахуванням апріорної інформації про осередки радіоактивного забруднення місцевості, що дозволяє підвищити достовірність і оперативність виявлення фактичного радіоактивного забруднення місцевості.

Практичне значення одержаних результатів. Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що розроблена єдина система моделей та методів обробки інформації про радіоактивне забруднення місцевості при виявленні радіаційної обстановки в автоматизованих системах контролю при малій щільності точок контролю з урахуванням апріорної інформації про осередки радіоактивного забруднення місцевості. Розроблені алгоритми можуть бути реалізовані в спеціальному математичному забезпеченні автоматизованих робочих місць різних посадовців в перспективних АСКРО і комплексних завданнях виявлення радіаційної обстановки при виникненні надзвичайних ситуацій. Практичну цінність утворюють наукові результати дисертації, а також

розроблений і реалізований на персональній ЕОМ прототип завдання “Виявлення радіоактивного забруднення місцевості за даними радіаційної розвідки”.

Впровадження результатів роботи може дозволити:

- підвищити достовірність і оперативність одержаної інформації радіоактивного забруднення місцевості за даними радіаційної розвідки при малій щільності точок контролю, використовуючи апріорну інформацію про осередки радіоактивного забруднення і метеоумови в ході бойової роботи розрахунково-аналітичному центрі Збройних Сил України» (Додаток А);

- результати дисертаційної роботи використовуються під час підготовки органів збору, узагальнення та аналізу даних про радіаційну обстановку в «Управлінні радіаційного, хімічного і біологічного захисту Командування сил підтримки Збройних Сил України» (Додаток Б);

- результати дисертаційної роботи використовуються при підготовці інформації про радіоактивне забруднення місцевості та виявленні радіаційної обстановки в АСКРО і СУВ при малій щільності точок контролю з урахуванням апріорної інформації про осередки радіоактивного забруднення місцевості в «Командуванні сил підтримки Збройних Сил України». (Додаток В).

Апробація матеріалів дисертації. Одержані результати дисертаційної роботи були представлені та обговорені на міжнародних конференціях: IX XX, XXI, XX, XIX Міжнародна науково-практична конференція Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАНУ (м. Київ, Україна, 2020, 2021, 2022); 22 Всеукраїнська науково-практична конференція (за міжнародною участю) «Спроможності функціональних та територіальних підсистем ЄДСЦЗ для оперативного розв’язання завдань за призначенням». 27 жовтня 2021 року Київ, Третя міжнар. наук.-практ. конф. «Сучасні тенденції розвитку інформаційних систем і телекомунікаційних технологій», 25–26 січня 2021 р. Київ, Україна; Наук.-практ. сем. “Проблемні питання організації підтримки дій військ (сил) збройних сил України в ході відбиття широкомасштабної збройної агресії російської федерації проти України (із

врахуванням досвіду проведення операції об'єднаних сил)”, 27 квітня 2023 р. (Київ, Україна).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 18 наукових робіт. З них 6 – у наукових фахових виданнях, 3 колективні монографії, 3 статті у наукометричній базі «SCOPUS», 6 тез доповідей у міжнародних наукових конференціях.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел, додатків; містить 29 рисунків і 10 таблиць. Загальний обсяг роботи становить 207 сторінок, серед яких 161 сторінок основного тексту.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ ВИНИКНЕННІ НЕБЕЗПЕЧНОГО РАДІАЦІЙНОГО ЗАБРУДНЕННЯ МІСЦЕВОСТІ

Актуальність розглянутої проблематики визначає загальні заходи у сфері інформаційних систем для моніторингу небезпечного радіаційного забруднення місцевості у цілому та інформаційні технології підтримки прийняття рішень з метою створення безпечних умов для життя населення. Розглянуто осередками радіоактивного забруднення та сутність адаптивного управління, яке полягає у виявленні кризових ситуацій функціонування осередків радіаційного забруднення територіально розосереджених мереж. Розроблено методи прогнозування радіоактивного забруднення місцевості при ядерних вибухах та надзвичайних ситуаціях, яка враховує дані спостережень, інформаційний ресурс території досліджень, структуру та склад спостережень, інтегровані показники території та об'єктів досліджень. Розглянуто математичний опис моделі поширення радіоактивної хмари в приземному шарі атмосфери, що дозволяє розрахувати потужність дози випромінювання на сліді радіоактивної хмари при аварії ядерного реактора

1. Аналіз існуючого стану методики виявлення небезпечного радіоактивного забруднення місцевості

1.1. Постановка задачі виявлення радіаційної обстановки в автоматизованих системах контролю

Радіоактивне забруднення місцевості є потужним фактором, що робить істотний вплив на життєдіяльність населення, роботу адміністративних структур і органів державного управління в цілому. Осередками радіоактивного забруднення в мирний час можуть бути:

- аварії ядерних енергетичних установок з викидом продуктів реакції;
- руйнування сховищ (контейнерів) з радіоактивними речовинами;

- руйнування активної зони або системи теплоносія ядерних енергетичних установок в результаті терористичних актів;
- руйнування могильників радіоактивних відходів.

Усім структурам управління пропонується при оцінці обстановки вивчати її радіаційну складову.

Виявлення і оцінка радіаційної обстановки здійснюється, як правило, в два етапи. На першому - на підставі даних про осередки радіоактивного забруднення і метеообстановку, здійснюється прогноз РЗМ. На другому - виявляється фактична радіаційна обстановка за даними розвідки (контролю). Результати прогнозу можуть бути використані тільки для орієнтовної оцінки радіаційної обстановки. Необхідно особливо відмітити, що ці прогнозування повинні обов'язково уточнюватися радіаційною розвідкою [1].

Такий порядок роботи характерний як для систем контролю радіаційної обстановки, так і для систем військового призначення (СУВ). Єдина Державна автоматизована система контролю радіаційної обстановки (ЄДАСКРО) одного із завдань повинна мати виявлення і оцінку (за прогнозом і фактичними даними) масштабів і наслідків погіршення екологічної обстановки на контрольованій території і об'єктах [2,3].

Таким чином, виникає необхідність вирішення задачі виявлення фактичної радіаційної обстановки в автоматизованих системах контролю радіаційної обстановки (АСКРО) і СУВ. При цьому АСКРО можна розглядати в двох аспектах:

- Державну систему, призначену для оперативного забезпечення органів управління України інформацією про стан контрольованих об'єктів і довкілля;
- підсистему СУВ, призначену для здійснення одного із заходів радіаційного, хімічного і біологічного захисту (РХБЗ), - забезпечення радіаційної безпеки.

Отже, рішення задачі виявлення фактичного радіоактивного забруднення місцевості повинне здійснюватися як в ЄДАСКРО, так і в СУВ.

Сьогодні є ряд методик, що дозволяють, за тих або інших умов, проводити виявлення РЗМ. В Україні основними науковцями в області радіаційної безпеки територій являються: Д.М. Гродзинський – спектральні характеристики рослинного покриву; В.Г. Бар'яхтар – дослідження аварії на Чорнобильській АЕС; О.М. Трофимчук, І.П. Ковальчук, Є.О. Яковлев, М.П. Константинов, Г.Д. Коваленко, С.М Чумаченко – моніторинг радіаційного забруднення земель.

До недавнього часу основні зусилля при розробці методик виявлення РЗМ були спрямовані на знаходження (уточнення) зон забруднення, обмежених стандартними або заданими дозами або потужностями доз випромінювання. Така інформація представлялася посадовцю для оцінки обстановки і вироблення пропозицій на подальші дії. При цьому автоматизувалися тільки рутинні обчислювальні процеси, а уся творча частина роботи була надана людині.

1.2. Інтелектуальні системи обробки даних радіаційної розвідки і виявлення радіоактивного забруднення місцевості

Останнім часом позначилася нова тенденція в питанні автоматизації процесів виявлення і оцінки радіаційної обстановки. Так, в роботах [4,5] була запропонована ідея інтелектуальної системи підтримки прийняття рішення (ІСПУР) яка, будучи реалізованою у вигляді людино-машинної процедури, дозволяє формалізувати деякі творчі функції, пов'язані з прийняттям рішення. Цей підхід, безумовно, не зменшує ролі людини, оскільки вибір якого-небудь варіанту дій з декількох альтернативних і прийняття остаточного рішення залишається прерогативою посадовця.

Подібні інтелектуальні системи пред'являють додаткові вимоги до методики обробки даних радіаційної розвідки і виявлення РЗМ, оскільки враховують міру достовірності інформації ("надійна", "ненадійна", "малонадійна"). Це дозволяє розглядати при обробці даних про радіоактивне забруднення місцевості значна більша кількість інформаційних ситуацій, чим прийнято сьогодні.

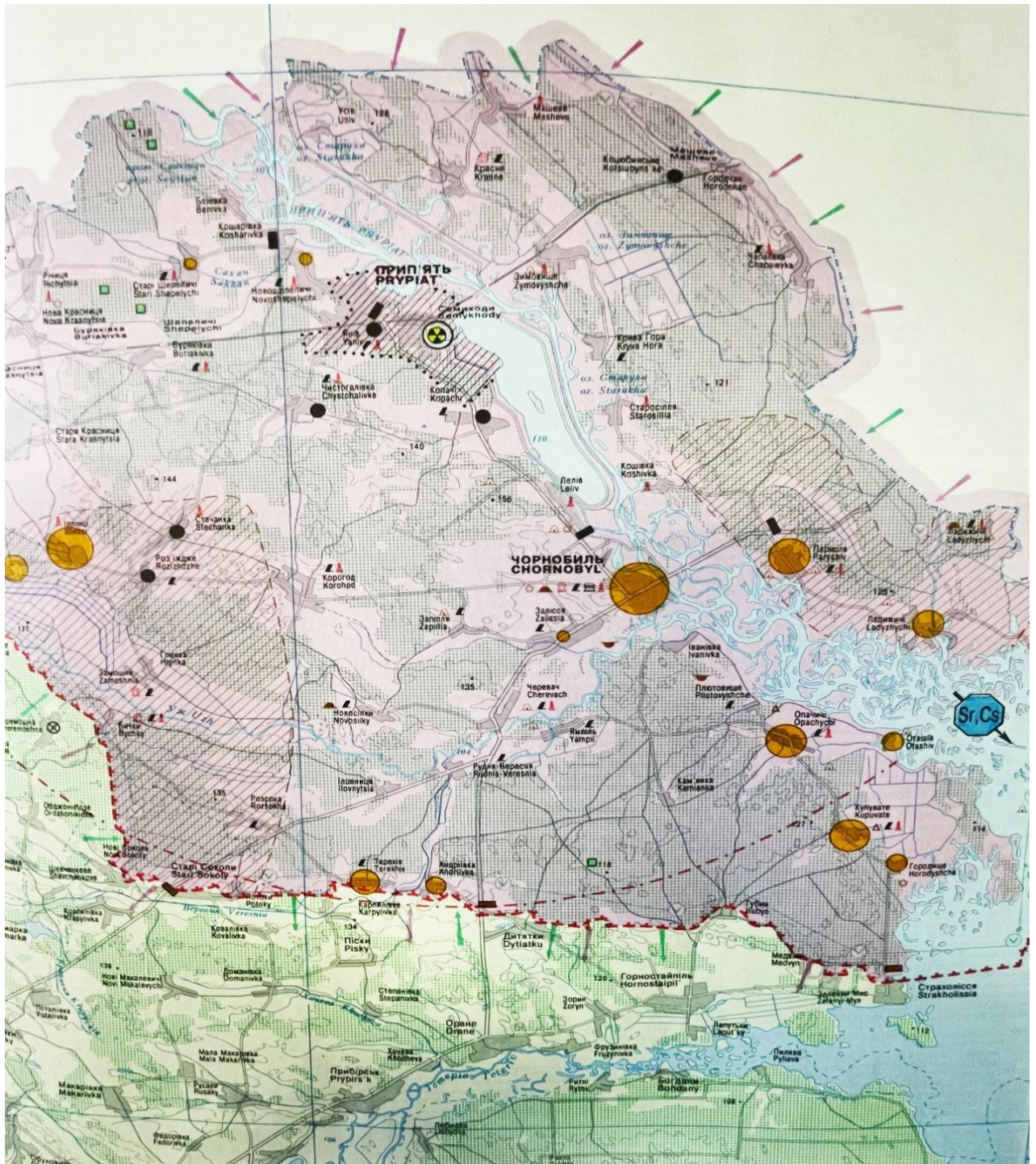


Рис.1.1. Карта щільності точок спостереження радіаційно забрудненої місцевості

З іншого боку, складність самої предметної області, припускає необхідність мати не лише продукційну, але і процедурну базу знань, що обумовлено необхідністю проведення багатократних розрахунків по різних варіантах дій при ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій. Отже, на час проведення таких розрахунків накладатимуться додаткові обмеження.

Ці дослідження проводилися на слідах тих, що повністю відповідають модельним і не враховували похибки роботи датчиків. Інші дослідження в цій області [7], проведені вже з урахуванням похибок виміру ПДВ, показали, що на регіональному рівні необхідна щільність складе $2,3\text{--}2,9 \text{ км}^2$, а в масштабі держави – $3,2\text{--}4,0 \text{ км}^2$ на одну точку (рис. 1.1.).

Питання про необхідну щільність точок контролю радіаційної обстановки заслуговує окремого розгляду. Так, дослідження, проведені в [6] показали, що оптимальний об'єм інформації про фактичну радіаційну обстановку (РО) забезпечується за наявності одного виміру на $3\text{--}6 \text{ км}^2$ на регіональному рівні і на $25\text{--}30 \text{ км}^2$ – в державних органах управління.

Сьогодні прийнято [8, 9], що при веденні радіаційної розвідки один вимір повинен проводитися на площі $3\text{--}6 \text{ км}^2$. Слід зазначити, що визначення необхідної щільності точок контролю проводилося з розрахунку на використання методу інтерполяції. Застосування інших методів для відновлення характеристик радіаційного поля, топологія якого близька до модельного, показало можливість виявлення фактичного РЗМ за наявності одного виміру на 10 км^2 . До таких методів відноситься метод лінійної оптимальної інтерполяції (МЛОІ), що дозволяє підвищувати достовірність інформації в процесі обробки.

Таким чином, при оцінці достовірності інформації, виявленої за даними радіаційної розвідки, необхідно враховувати не лише похибки виміру ПДВ і щільність точок контролю, але також топологію поля РЗМ і метод, який використовується для обробки даних. У подальших розділах наводиться аналіз конкретних методів обробки даних радіаційної розвідки і оцінюється можливість їх використання в автоматизованих системах контролю радіаційної обстановки і управління.

1.3. Методи прогнозування радіоактивного забруднення місцевості при виникненні надзвичайних ситуацій

На даний час досить добре пропрацьовано методи прогнозування радіоактивного забруднення місцевості при ядерних вибухах. Проте, ці підходи неприйнятні при виникненні надзвичайних ситуацій на об'єктах атомної енергетики і підприємствах ядерного паливного циклу. Це пов'язано з тим, що набір радіонуклідів, що забруднюють навколишній простір при аварії на АЕС, істотно відрізнятиметься від їх складу при ядерному вибуху. Так, при аварії ядерного енергетичного реактора довгоживучих радіонуклідів буде в 100-2200 разів більше, ніж при використанні ядерної зброї [10]. Крім того, принципово іншим буде процес поширення продуктів реакції. Це обумовлено:

- різною висотою підйому радіоактивних хмар з аварійного реактора і від ядерного вибуху;
- пульсуючим характером витікання радіоактивних речовин із зруйнованої зони ядерного реактора;
- нестабільністю метеопараметрів в приземному шарі атмосфери в порівнянні з високими шарами атмосфери, де відбувається поширення радіоактивної хмари ядерного вибуху.

Виходячи з вищесказаного, можна зробити висновок про те, що методики прогнозування радіоактивного забруднення місцевості, що базуються на використанні модельних уявлень про формування сліду ядерного вибуху, непридатні відносно радіаційних аварій, або вимагають істотної переробки. Інші методики, при обробці інформації про аварії на ядерних енергетичних установках, повинні враховувати радіонуклідний склад продуктів реакції. Крім того, застосування коефіцієнта спаду ПДВ, використовуваного для ядерних вибухів, в даному випадку неприпустимо.

АСКРО - система, призначена для моніторингу довкілля. Основними завданнями вимірювального моніторингу навколо АЕС є [11]:

- спостереження за рівнями радіоактивного забруднення довкілля;

- оцінка рівнів радіоактивного забруднення з метою попередження можливих негативних наслідків;
- вивчення тенденцій просторово-часових змін радіаційної обстановки;
- прогноз радіоактивного забруднення об'єктів довкілля;
- розробка рекомендацій по дії в осередку радіоактивного забруднення на основі інформації, отриманої в результаті виконання попередніх завдань.

Сьогодні усі АЕС обладнані апаратурою, що забезпечує безперервний цілодобовий контроль скидань і викидів радіоактивних речовин в довкілля, сигналізацію перевищення в повітрі допустимих концентрацій, автоматичне, без участі оператора, фіксацію об'ємної активності радіонуклідів у воді і повітрі (інформаційно вимірювальна система «Кільце», апаратура РКС-03-01, АК РБ-06 «Горбач-1», «Сейвал-1» та ін.). Деякі АЕС частково обладнані датчиками, які досягши потужності дози гамма випромінювання граничного значення, автоматично включають прилади, що вимірюють сумарну активність ізотопів йоду, інертних радіоактивних газів (ІРГ) і потужність дози бета випромінювання. Отримана таким чином інформація передається по дротяних засобах зв'язку. Оснащення потенційно небезпечних в радіаційному відношенні об'єктів приладами, що дозволяють вимірювати активність окремих ізотопів (груп ізотопів), викликана тим, що різні радіонукліди представляють різну небезпеку для життя і здоров'я людини.

Датчики розташовуються, в основному, рівномірно навколо АЕС, з деякою перевагою у напрямі пануючих вітрів і великих міст (селищ). З навітряного боку від АЕС на відстані 40-60 км від неї встановлюють контрольний дозиметричний пост, вважають, що він реєструє тільки природний фон.

Дослідження показали, що АСКРО одного об'єкту повинна мати 25-300 постів.

Різні методики прогнозування радіоактивного забруднення місцевості при аварії ядерної енергетичної установки використовують різні підходи в рішенні цієї задачі. Розглянемо деякі з них.

1.3.1. Модель поширення радіоактивної хмари в приземному шарі атмосфери

Модель поширення радіоактивної хмари в приземному шарі атмосфери [12] дозволяє розрахувати потужність дози випромінювання на сліді радіоактивної хмари при аварії ядерного реактора. У основу моделі покладені наступні залежності:

$$\dot{X} = \frac{(1 - 0,9\tau^{-0,18})W_{эл}\eta R}{V^\beta X^\gamma} K \exp\left(-\frac{Y^2}{2\sigma_y^2}\right), \quad (1.1)$$

де $\dot{X}$ - потужність дози випромінювання на сліді радіоактивної хмари за годину після аварії на АЕС, Р/ч;

τ – тривалість компанії, доба. Стандартна компанія ядерних ректорів РБМК і ВВЭР на території України близько трьох років або 1100 діб;

$W_{эл}$ - електрична потужність ядерного реактора, МВт;

η – доля викиду радіоактивних речовин з ядерного реактора, %. Якщо доля викиду невідома (типова ситуація в початковій стадії аварії), то вона приймається рівною 10%, причому для ядерних реакторів РБМК 25% викиду вважається хмарию, а 75% викиду - струмись. Для ядерних реакторів ВВЭР 75% викиду - хмара і 25% - струмись;

R – коефіцієнт, величина якого залежить від типу ядерного реактора і категорії стійкості атмосфери. Значення R приведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 Значення коефіцієнта R

Тип ядерного реактора	Категорія стійкості атмосфери		
	Конвекція (А)	Ізотермія (D)	Інверсія (F)
РБМК	0,01104	0,11435	0,17282
ВВЭР	0,00644	0,01421	0,03044

V – швидкість вітру в шарі 0-200 м, м/с;

X – відстань від аварійного ядерного реактора по напрямку вітру, км;

K – коефіцієнт, що враховує зменшення потужності дози на початковій ділянці сліду:

$$K = 0.5 \left[1 + \operatorname{erf} \left(\sqrt{K_1} \ln(X / X_{50}) \right) \right]. \quad (1.2)$$

Для категорії стійкості атмосфери А і D $K=1$, але його величину необхідно враховувати для категорії стійкості атмосфери F;

$\operatorname{erf}(\sqrt{K_1} \ln(X / X_{50}))$ – інтеграл вірогідності (функція Лапласа);

X_{50} - відстань від АЕС до точки, в якій потужність дози випромінювання в два рази менше максимальної на осі сліду, км;

Y - відстань точки від осі сліду, км;

σ_y - дисперсія бічного відхилення сліду на відстані X км від АЕС:

$$\sigma_y = \frac{C_3 X}{\sqrt{1 + 0.1X}}, \quad (1.3)$$

де C_3 - критерій Пасквилла, величина якого залежить від категорії стійкості атмосфери (таблиця. 1.2).

Таблиця 1.2 Значення критеріїв Пасквилла

Категорія стійкості атмосфери	Конверсія	Ізотермія	Інверсія
C3	0,00644	0,01421	0,03044

γ – коефіцієнт, величина якого залежить від типу ядерного реактора, категорії стійкості атмосфери і швидкості вітру:

$$\gamma = a - b \lg V. \quad (1.4)$$

Значення коефіцієнтів a і b , а також β , $\sqrt{K_1}$, X_{50} , величини яких залежать від типу ядерного реактора і категорії стійкості атмосфери, приведені в таблиці 1.3.

Знаючи значення потужності дози випромінювання в точці на сліді хмари на 1 годину після аварії можливо розрахувати рівень радіації на будь-який час:

$$\dot{X}_t = \dot{X}_1 f(t), \quad (1.5)$$

$$\text{де } f(t) = \begin{cases} t^{-0.165} & \text{при } t \leq 63 \text{ год} \\ t^{-0.43} & \text{при } 63 \text{ год} < t \leq 2160 \text{ год}; \end{cases}$$

t - час з моменту зупинки ядерного реактора, год.

Таблиця 1.3 Значення коефіцієнтів a , b , β , $\sqrt{K_1}$, X_{50}

Тип ядерного реактора	Категорія стійкості атмосфери	a	b	β	$\sqrt{K_1}$	X_{50}
РБМК-1000	A	1.75064	0.43463	1.27297	1.90623	27.958
	D	2.02097	0.59085	1.23651	1.90623	27.958
	F	2.08716	0.36056	0.85016	1.90623	27.958
ВВЭР-1000	A	1.52343	0.33194	1.15853	1.90859	28.000
	D	1.76039	0.50074	1.24020	1.90859	28.000
	F	2.08914	0.35439	0.83993	1.90859	28.000

У рамках розвитку цієї моделі [11] була запропонована модель розрахунку розподілу потужності дози випромінювання на сліді радіоактивної хмари. У напрямку сліду розподіл потужності дози випромінювання визначається:

$$\dot{X}_x = \frac{10^\alpha K K_w}{V^\beta X^\gamma}, \quad (1.6)$$

де α коефіцієнт, величина якого залежить від типу ядерного реактора і стійкості атмосфери (таблиці. 1.4)

Таблиця 1.4 Значення коефіцієнта (α)

Тип ядерного реактора	Категорія стійкості атмосфери		
	A	D	F
РБМК-1000	1,89180	2,90735	3,08670
ВВЭР-1000	1,65788	2,00169	2,33355

X_{50} - відстань від АЕС до точки, в якій потужність дози випромінювання в два рази менше максимальної на осі сліду, км. За відсутності даних величина X_{50} приймається рівною 27,958 для РБМК-1000 і 28,000 - для ВВЭР-1000 (далі див. таблицю. 1.3);

K_W - коефіцієнт, що враховує кількість аварійних ядерних реакторів (n), їх електричну потужність ($W_{\text{эл}}$, МВт) і долю викиду радіоактивних речовин з ядерного реактора при аварії (η , %):

$$K_W = 10^{-4} n W_{\text{эл}} \eta. \quad (1.7)$$

Розподіл потужності дози випромінювання в напрямі перпендикулярному осі сліду описується наступним рівнянням:

$$\dot{X}_{xy} = \dot{X}_x \exp\left(\frac{-Y^2}{2\sigma_y^2}\right), \quad (1.8)$$

де Y – відстань від осі сліду, км;

σ_y^2 – дисперсія розподілу домішки в поперечному перерізі сліду хмари (1.3). Проте критерій по Пасквиллу в даному випадку визначається інакше (таблиця. 1.5).

Таблиця 1.5 Значення критеріїв Пасквилла

Категорія стійкості атмосфери	A	D	F
C3	0,22	0,08	0,04

Виходячи з вищевикладеного модель дозволяє визначити геометричні розміри зон радіоактивного забруднення місцевості. Довжина зони забруднення:

$$L_x = \sqrt{\frac{K_W \cdot K \cdot A \cdot 10^{\alpha}}{V^{\beta} \cdot \dot{X}_3}}. \quad (1.9)$$

Ширина сліду радіоактивної хмари:

$$L_y = \sqrt{2\sigma_y^2 \left(\ln \dot{X}_{1/2L_x} - \ln \dot{X}_3 \right)}, \quad (1.10)$$

де $\dot{X}_{1/2L_x}$ – потужність дози випромінювання на осі сліду на відстані $1/2L_x$ від АЕС на 1 годину після зупинки ядерного реактора;

$\dot{X}_3$ – потужність дози випромінювання на зовнішній межі визначуваної зони на 1 годину після аварії ядерного реактора;

A – добова доля радіонуклідів, що викидаються, від їх загальної кількості, %.

Як показує аналіз цієї моделі, запропонований алгоритм досить добре формалізований. Проте в якості вихідних даних є присутньою велика кількість змінних, значення яких невідоме, принаймні в початковий період розвитку аварії. До таких параметрів відносяться: доля викиду радіоактивних речовин з ядерного реактора; відстань від АЕС до точки, в якій потужність дози випромінювання в два рази менше максимальної на осі сліду (x_{50}); добова доля радіонуклідів, що викидаються, від їх загальної кількості (A) і деякі інші. Привласнення невідомим параметрам моделі фіксованих значень, поза сумнівом, погіршує якість моделі в цілому.

Крім того, ця модель не враховує пульсуючий характер викиду радіоактивних речовин з аварійного реактора, що цілком імовірно, як показав досвід аварії на Чорнобильській АЕС.

На наш погляд ця модель може використовуватися для складання прогнозу радіоактивного забруднення місцевості у тому разі якщо активна фаза розвитку ядерної реакції припиняється після викиду радіоактивних речовин в атмосферу.

1.3.2. Модель апроксимації радіоактивного забруднення місцевості

Модель апроксимації радіоактивного забруднення місцевості заснована на використанні рівняння апроксимації:

$$m = \frac{A \cdot L_x^2 + B \cdot L_x + C}{(L_x + 5)^2}, \quad (1.11)$$

де А, В, С – коефіцієнти апроксимації, величина яких залежить від типу ядерного реактора, вертикальної стійкості повітря і швидкості вітру (таблиця 1.6).

Таблиця 1.6 Значення коефіцієнтів апроксимацій А, В, С

Коефіцієнт	Конвекція	Ізотермія		Інверсія
	Середня швидкість вітру, км/год			
	10	20	40	20
РБМК-1000				
A	$1,026 \cdot 10^{-2}$	$-2,823 \cdot 10^{-2}$	$-1,028 \cdot 10^{-2}$	-0,1598
B	$9,536 \cdot 10^{-2}$	7,7540	5,9750	26,540
C	154,00	464,00	268,90	-263,60
ВВЭР-1000				
A	$-9,494 \cdot 10^{-3}$	$-1,691 \cdot 10^{-2}$	$-7,987 \cdot 10^{-3}$	$-2,415 \cdot 10^{-2}$
B	3,7450	4,2210	2,7610	4,1410
C	112,50	55,950	31,650	-32,170

Потужність дози випромінювання на сліді радіоактивної хмари розраховується по рівнянню:

$$\dot{X} = m \cdot K_y \cdot K_w, \quad (1.12)$$

де K_w – коефіцієнт потужності ядерного реактора і долі радіонуклідів, що викидаються з реактора при аварії (1.7);

K_y – зміна коефіцієнта апроксимації m в поперечному перерізі радіоактивного сліду:

$$K_y = \exp\left(-\frac{L_y}{2\sigma_y^2}\right);$$

σ_y – середнє квадратичне відхилення розрахункової точки:

$$\sigma_y = \frac{\alpha \cdot L_x}{\sqrt{1 + 0.1 \cdot L_y}};$$

L_y – видалення розрахункової точки від осі сліду, км;

α – константа міри вертикальної стійкості повітря (0,15 - конвекція, 0,06 - ізотермія, 0,02 - інверсія).

Перерахунок потужність дози випромінювання на заданий час здійснюється по співвідношенню:

$$\dot{X}_{зад} = \dot{X} \cdot K_t, \quad (1.13)$$

де K_t - коефіцієнт спаду активності за часом:

$$K_t = \left(\frac{t_{зад}}{t_{вим}} \right)^{-n}, \quad (1.14)$$

де $t_{зад}$ - час перерахунку потужності дози, год;

$t_{вим}$ - час виміру (або первинного розрахунку) потужності дози відносно аварії, год;

n - показник спаду активності, величина якого змінюється від 0,5 до 0,3 через три роки після аварії на АЕС.

Аналіз розглянутої методики показує, що вона є спрощеним варіантом моделі поширення радіоактивної хмари в приземному шарі атмосфери і, отже, зберігає усі її недоліки. Перевагою моделі апроксимації є значне спрощення розрахунків. У зв'язку з цим запропонований підхід може бути застосований при первинному, "грубому" прогнозуванні, або за відсутності обчислювальної техніки. Проте при цьому не слід забувати, що як всяке спрощення розробленої

математичної моделі веде до погіршення її якості, так і в даному випадку слід чекати появи додаткових похибок.

1.3.3. Застосування квазістаціонарного підходу Пасквилла-Гиффорда при поширенні радіоактивних домішок в приземному шарі

Оскільки аварія ядерної енергетичної установки може мати пульсуючий характер, розтягнутий в часі по порівнянню разовим викидом радіоактивних речовин, виникає завдання обробки результатів вимірювань, коли процес витікання радіонуклідів з реактора ще не завершився. Інше не менш важливе завдання полягає у визначенні характеристик і динаміки поширення аерозольної радіоактивної хмари.

У зв'язку з цим, при виявленні радіоактивного забруднення, розроблена модель поширення **радіоактивних** домішок в приземному шарі Пасквилла-Гиффорда, проте описуваний підхід прийнятний і для інших моделей.

У даній моделі реалізований квазістаціонарний підхід, згідно з яким в певний інтервал часу (t_j метеоумови вважаються постійними. Тоді, інтегральна концентрація радіонуклідів в повітрі при проходженні радіоактивної хмари викиду буде дорівнювати:

$$\chi(x, y, z) = \sum \frac{\bar{Q}_j \cdot \Delta t_j}{2\pi \cdot \sigma_y(\tilde{x}_j) \cdot \sigma_z(\tilde{x}_j) \cdot u_j} \exp\left(-\frac{\tilde{y}_j^2}{2\sigma_y^2(\tilde{x}_j)}\right) \cdot \left\{ \exp\left[-\frac{(Z-H)^2}{2\sigma_y^2(\tilde{x}_j)}\right] + \exp\left[-\frac{(Z+H)^2}{2\sigma_y^2(\tilde{x}_j)}\right] \right\} \cdot f_R \cdot f_F \cdot f_W, \quad (1.15)$$

де $\bar{Q}_j$ – потужність викиду j -го радіонукліда в інтервал часу Δt_j , Бк/с;

Δt_j – тривалість інтервалу часу, впродовж якого зберігаються незмінними метеоумови, с;

$\tilde{x}_j$ – проекція вектору $\vec{r}(x, y)$, що має початок в точці з координатами осередка радіоактивного забруднення і кінець в даній точці, на вісь сліду, утвореного вітровим перенесенням в інтервалі часу Δt_j , м;

$\tilde{y}_j$ – відстань від точки з координатами (x, y) до осі сліду, утвореного вітровим перенесенням в інтервалі часу Δt_j , м;

σ – коефіцієнт дисперсії, Смита-Хоскера, що розраховується по формулі;

H – висота викиду, м;

f_R – поправка на збіднення хмари за рахунок радіоактивного розпаду;

f_F – поправка на збіднення хмари за рахунок вимивання радіонуклідів осіданнями;

f_W – поправка на збіднення хмари за рахунок контактного осадження або адсорбції;

u_j – швидкість вітру, м/с.

Пост контролю АСКРО отримує інформацію про концентрацію в повітрі ІРГ, усіх ізотопів йоду і усій бета активності аерозолів. Для відновлення величини викиду визначається концентрація i -го радіонукліда ІРГ за час проходження хмари Δt_j :

$$\chi_i(\tilde{x}_j, \tilde{y}_j, t) = \frac{Q_{iП} \cdot \exp(-\lambda_i t)}{\sum_i Q_{iП} \cdot \exp(-\lambda_i t)} \chi_{изм} = \alpha_{iП} \cdot \chi_{изм}, \quad (1.16)$$

де $\chi_{изм}$ – виміряна концентрація ІРГ за час t на посту контролю з координатами $(\tilde{x}_j, \tilde{y}_j)$, Бк/м³;

$Q_{iП}$ – активність викиду в атмосферу радіонукліда ІРГ для постульованої аварії відповідного рівня, Бк;

λ_i – постійна радіоактивного розпаду i -го радіонукліда ІРГ, с;

$\alpha_{i\Pi}$ - доля активності і -го радіонукліда ІРГ від усієї активності ІРГ для постульованої аварії відповідного рівня, відн. Од.

Аналогічно визначається концентрація кожного (і -го) радіонукліда йоду.

Концентрація інших радіонуклідів, що знаходяться в аерозольній формі, розраховується виходячи з наступного співвідношення:

$$\chi_{ia}\left(\tilde{x}_j, \tilde{y}_j, t\right) = \frac{Q_{ian} \cdot \exp(-\lambda_i t)}{\sum_i Q_{an\Pi} \cdot \exp(-\lambda_i t)} \cdot (\chi_{\beta_{вим}} - \chi_{I_{вим}}) = \alpha_{ian} (Q_{\beta_{вим}} - Q_{I_{вим}}), \quad (1.17)$$

де Q_{ian} – активність викиду в атмосферу і -го радіонукліда, що знаходиться в аерозольній формі, для постульованої аварії відповідного рівня, Бк;

$\chi_{\beta_{вим}}, \chi_{I_{вим}}$ – виміряна концентрація (-активних аерозолів і радіойоду за час Δt_j на посту контролю з координатами $\left(\tilde{x}_j, \tilde{y}_j\right)$ відповідно, Бк/м³;

α_{ian} – доля активності і -го радіонукліда в аерозольній формі від усієї активності (β -аерозолей для постульованої аварії відповідного рівня, відн.од.

Після цього вирішується зворотне завдання перенесення домішки в атмосфері:

$$Q_j \Delta t_j = \sum_n \frac{Q_j \Delta t}{n} = \sum_n \sum_{k=1}^3 \frac{\chi_{ik} \cdot 2\pi \sigma_y(\tilde{x}) \cdot \sigma_z(\tilde{x}) \cdot u_j}{\exp\left(-\frac{\tilde{y}^2}{2\sigma_y^2(\tilde{x})}\right) \cdot \left\{ \exp\left[-\frac{(Z-H)^2}{2\sigma_y^2(\tilde{x})}\right] + \exp\left[-\frac{(Z+H)^2}{2\sigma_z^2(\tilde{x})}\right] \right\} \cdot f_R \cdot f_F \cdot f_W}, \quad (1.18)$$

де n – кількість постів контролю;

k – кількість груп радіонуклідів, активність яких вимірюється датчиками АСКРО (групи ІРГ, йоду і β -активних аерозолів).

При зміні швидкості вітру і (чи) його напрямку завдання вирішується аналогічно.

Таким чином, розглянута методика дозволяє, за наявності відповідних даних, розраховувати інтегральну потужність викиду кожного радіонукліда в аерозольній формі за деякий інтервал часу. Надалі, отримані дані передбачається використати для відновлення динаміки поширення радіоактивної аерозольної хмари і прогнозування радіоактивного забруднення місцевості.

Ця методика може бути використана в АСКРО об'єктів атомної енергетики. Отримання достовірних результатів про інтегральну потужність викиду радіонуклідів слід чекати у тому випадку, якщо реальні процеси, що протікають в аварійному реакторі, досить повно описані в постульованому вигляді.

Аналіз різних моделей показує, що прогнозування радіоактивного забруднення місцевості при аварії на ядерній енергетичній установці доцільно проводити в наступній послідовності:

- моделювання радіоактивної хмари на основі методики Пасквилла-Гиффорда з використанням квазістаціонарного підходу;
- обробка даних радіаційної розвідки постів радіаційного контролю об'єкту з метою уточнення параметрів моделі, зокрема визначення потужності викиду, кількості радіоактивних речовин, які осіли на місцевість т.і.;
- моделювання радіоактивного забруднення місцевості на основі методики поширення хмари в приземному шарі атмосфери з урахуванням уточнених даних і використанням квазістаціонарного підходу, тобто враховуючи накладення радіоактивних слідів, утворених в різні моменти часу при витіканні радіоактивних речовин з аварійного реактора.

1.4. Методи виявлення радіоактивного забруднення місцевості за даними радіаційної розвідки

1.4.1. Інтерполяційні методи для обробки даних радіаційної розвідки.

Відновлення поля РЗМ за даними радіаційної розвідки є складним завданням, суть якого полягає в коректному переході від дискретних вимірювань

ПДВ до безперервного представлення поля. Іншою стороною цього завдання є потреба виявлення динаміки зміни поля РЗМ, що необхідно для оцінки РО. Трудність її рішення обумовлена тим, що:

- у системах контролю і розвідки вимірюються різні характеристики поля (ПДВ, активність ізотопів т.і.);
- вимірювання ПДВ проводяться приладами, які мають різні похибки і в окремих випадках можуть у декілька разів спотворювати значення вимірюваної величини [13];
- часто вимірювання ПДВ в точці носять одноразовий характер;
- вимірювання проводяться не на основі регулярної сітки і мають різну щільність;
- як правило, відсутня інформація про вік і ізотопний склад радіонуклідів, а, отже, невідомий коефіцієнт спаду ПДВ;
- у інформації про РЗМ при виявленні наслідків аварій є присутньою така складова похибки, як похибка визначення координат точки виміру ПДВ, яка може складати 0,1-0,7 км залежно від технічних засобів, що використовуються [14].

Для вирішення цього завдання використовувалися різні математичні методи. У числі перших, були задіяні методи інтерполяції.

У загальному випадку, інтерполяція – це відновлення функції f по відомих її значеннях в точках x_i , $i=0,1,...,m$. Інтерполуючу функцію зазвичай відшуковують у вигляді $\varphi(x)=F(x, a_1,...,a_n)$ і потім підбирають параметри $a_1,...,a_n$ так, щоб φ і f співпали у вузлах інтерполяції [15], тобто:

$$F(x_i, a_1, ..., a_n) = f(x_i), \quad i = 0, 1, ..., m. \quad (1.19)$$

Проте слід мати на увазі, що поле РЗМ тривимірне, тобто аргументами є дві координати x та y , крім того, ПДВ змінюється в часі, будучи функцією від t .

Таким чином, завдання зводиться до побудови інтерполяційного полінома міри n по декількох змінних [16]. Але, маючи довільну нерегулярну вибірку значень ПДВ, не завжди можливо його знайти.

Ще одним недоліком інтерполяційних методів є те, що інтерпольована функція може поводитися довільним чином між вузлами інтерполяції, оскільки не враховує міру кореляційного зв'язку між сусідніми точками вимірювань, тобто, не враховується природа даного явища. Поле РЗМ може мати на окремих ділянках локальні викиди, максимуми ПДВ, або взагалі може бути відсутньою частина вимірювань. Це призводить до накладення додаткових обмежень на вихідні дані. В дослідженнях показано, що коректне відновлення поля РЗМ в умовах радіоактивного забруднення місцевості, утвореного декількома осередками, досягається при щільності вибірки, порівнянної з розмірами локальних неоднородностей, тобто один вимір на 200-300м.

Особливістю методів звичайної інтерполяції є те, що вони дозволяють не враховувати похибки вимірювань, які складають не більше 10-20% [17]. Проте на сучасному етапі дозиметрична апаратура далеко не завжди дозволяє здійснювати вимірювання з такою мірою точності. В окремих випадках похибка може складати 100 і більше відсотків [18-19].

Перелічені вище недоліки інтерполяційних методів привели до того, що вони не отримали широкого застосування при обробці даних радіаційної розвідки. Незважаючи на це, за певних умов (невеликі, 20-30%, похибки виміру ПДВ, і координат точок вимірювань, а також відносно проста топологія радіаційного поля), ці методи можуть бути успішно використані [20]. Безперечною їх перевагою є простота, що забезпечує оперативність обробки інформації про РЗМ і не потребує значних витрат обчислювальних ресурсів ЕОМ.

Такий підхід до обробки даних про РЗМ може знайти своє застосування в якості експрес-методів виявлення РО за умови достатньої або надмірної щільності вимірювань, коли немає потреби прогнозувати зміну стану поля РЗМ в часі.

1.4.2. Застосуванням сплайн-аппроксимації для обробки даних радіаційної розвідки.

Подальшим розвитком цього напрямку стало представлення поля РЗМ із застосуванням сплайн-аппроксимації. Для цього використовувалася функція виду [12]:

$$S_m(\Delta_n; x) = P_{m-1}(x) + \sum_{k=0}^{n-1} C_k (x - x_k)^m, \quad (1.20)$$

де $P_{m-1}(x)$ – многочлен;

Δ_n – сітка, визначена на відрізку $[a, b]$, $a=x_0 < x_1 < \dots < x_n < b$ і співпадаюча на частковому відрізку $[x_i, x_{i+1}]$ з алгебраїчним многочленом ступеня не вищим ніж m , що має на відрізку $[a, b]$ безперервні похідні;

C_k – дійсні числа, які визначаються виходячи зі значень похідних, що обчислені в точках виміру ПДВ ;

$\{x_i\}_{i=1}^{n-1}$ – точки, що називаються вузлами сплайна.

При використанні кубічного сплайна, заданого локально, метод може знайти застосування для опису поля РЗМ за даними про ПДВ, виміряним однотипними технічними засобами при необхідній щільності вимірювань μ :

$$2\mu \leq 2\Omega, \quad (1.21)$$

де 2Ω – мінімальні розміри ділянок РЗМ, що виявляються [20].

Аналіз роботи цього методу показав, що він задовільно відтворює поля РЗМ при достатній щільності точок вимірювань. Проте, при великих похибках виміру ПДВ відновлюваність поля різко погіршується, а при похибках 200%, метод практично перестає працювати. Таким чином, використання справжнього підходу можливе для обробки даних радіаційної розвідки, що мають високу щільність вибірки і малі похибки вимірювань, що важко досягаємо на сучасному

етапі. Отже, потрібне створення механізму фільтрації для зменшення впливу похибок вимірювань.

З цією метою вимірне поле можна представити у вигляді [21]:

$$F(p) = F^0(p) + E(p) \quad (1.22)$$

де $F^0(p)$ – поле, що визначається;

$E(p)$ - перешкода (похибка вимірювань).

Теоретично, якщо $F^0(p)$ і $E(p)$ випадкові поля з відомими середніми і коваріаційними функціями (у тому числі взаємними), то по отриманих значеннях $F(p_1), F(p_2), \dots, F(p_n)$ можна побудувати оптимальну лінійну оцінку $F^0(p)$. Проте практично завдання в такій постановці можна вирішити тільки для дуже вузького класу полів $F^0(p), E(p)$ [22].

У зв'язку з цим було запропоновано [21]:

- перейти від випадкових координат вимірювань ПДВ до прямокутної сітки;
- вважати випадкові поля $F^0(p)$ і $E(p)$ однорідними, стаціонарними і взаємно незалежними;
- синтезувати фільтр не в класі усіх лінійних фільтрів, а в якомусь істотно вужчому класі.

Виходячи з цього, завдання двовимірної фільтрації розщеплюється на серію одновимірних.

Критерієм параметрів фільтру може бути мінімум відхилень перетворення $F(p) \xrightarrow{\Phi(p)} F^0(p)$:

$$M\{F(p) - F^0(p)\} \rightarrow \min. \quad (1.23)$$

Використовуючи ці обмеження, в [22] запропонований згладжуючий кубічний сплайн, що реалізовує метод найменших квадратів:

$$F(p) = \sum_{i=1}^N (p_i - p_i^0)^2 + a \cdot b \iint_{s \in S} \left(\frac{\partial^2 p}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial X \partial Y} + \frac{\partial^2 p}{\partial Y^2} \right) \partial X \cdot \partial Y, \quad (1.24)$$

де p_i, p_i^0 – виміряне і вичислене значення поля РЗМ в i -ій вузловій точці сплайна, $i=1,2,...,N$;

p – значення функції p_i по усій області визначення $s \in S$;

a, b - параметри фільтру.

Рішенням задачі (1.24), являється кубічний сплайн двох змінних [21]. Цей підхід був запропонований в [7].

Використання цього методу дозволяє добитися хорошої відновлюваності поля при високій щільності вимірювань ПДВ і нескладній його топології [8]. Проте при ускладненні РО виникає необхідність збільшення дискретності сітки, тобто зменшення її кроку. Це у свою чергу призводить до різкого збільшення часу обробки даних. Крім того, при великій кількості вузлів сітки, алгоритм може працювати нестійкий.

В якості іншого підходу до синтезу фільтрів може бути використане швидке перетворення Фур'є. Але такі недоліки, як незадовільна апроксимація на краях, труднощі в обчисленні проміжних значень, не співпадаючих з вузлами сітки, не дозволяють використати вказаний підхід при рішенні цієї задачі [23].

Для побудови поля РЗМ використовувався також бікубічний сплайн [24]. При цьому відновлюване поле розбивалося на прямокутники різних розмірів P_i так, щоб в кожного потрапляло не менше 9 вимірювань. Усередині кожного знаходилася інтерполяційна функція у вигляді двовимірного полінома третього порядку $P(x, y, a_0, ..., a_n)$, лінійно залежного від коефіцієнтів $a_0, ..., a_n$. Ці коефіцієнти визначаються з умови досягнення функціоналом:

$$Z = \sum_{i=1}^L \left(\frac{P_i(x_l^i, y_l^i, a_{0l}, ..., a_{nl}) - Z_l^i}{S_l^i} \right)^2, \quad (1.25)$$

де L - кількість прямокутників;

Z_l^i – виміряні значення ПДВ, рад/год;

S_i^i – точність вимірювань, умовного мінімуму, причому підсумовування ведеться по точках, координати яких потрапляють в цей прямокутник, а умовами виступає рівність P_i і їх першою і другою похідних на загальних межах відповідних прямокутників.

Дослідження показали, що при великій неоднорідності вихідних даних по місцезрештуванню (наявність значних зон, в яких вимірювання не проводилися) такий підхід може невиправдано завищувати або занижувати розрахункові значення в цих зонах. Для корекції цього ефекту був застосований метод локальної інтерполяції. Він заснований на припущенні про наявність в вихідних даних локальних лінійних залежностей.

Суть методу, викладеного в роботі, полягає в тому, що точка, в якій необхідно розрахувати значення ПДВ, розглядається як та, що знаходиться на початку полярної системи координат. Уся множина вимірювань ПДВ розбивається на b секторів, в кожному з яких одиничні вимірювання отримують координати (r_i, α_i) .

Тоді, для вирішення завдання необхідно побудувати інтерполяційну пряму:

$$Z = ar + b. \quad (1.26)$$

Коефіцієнти цієї прямої розраховуються з умови досягнення мінімуму функціоналом:

$$\sum_{i=1}^m \left(\frac{ar_i + b}{S_i} \right), m = (5, n_k) \quad (1.27)$$

де n_k - число вимірювань ПДВ, що потрапили в k -тий сектор.

Оскільки точка, в якій інтерполюється значення поля, знаходиться на початку координат ($r=0$), це значення є b з дисперсією $D(b)$:

$$b = \left[\left(\sum \frac{Z_i}{D_i} \right) \cdot \left(\sum \frac{r_i^2}{D_i} \right) - \left(\sum \frac{Z_i r_i}{D_i} \right) \cdot \left(\sum \frac{r_i}{D_i} \right) \right] \cdot \left[\left(\sum \frac{r_i^2}{D_i} \right) \cdot \left(\sum \frac{1}{D_i} \right) - \left(\sum \frac{r_i}{D_i} \right)^2 \right]^{-1}, \quad (1.28)$$

$$D(b) = \sum \frac{r_i^2}{D_i} \cdot \left[\left(\sum \frac{r_i^2}{D_i} \right) \cdot \left(\sum \frac{1}{D_i} \right) - \left(\sum \frac{r_i}{D_i} \right)^2 \right]^{-1}. \quad (1.29)$$

Критерієм вибору числа точок m , являється мінімум дисперсії. Він же використовується для визначення інтерполяційного сектора.

В якості інтерполяційної залежності досліджувалася не лише пряма (1.26), але і парабола. Будувалися ті, що мінімізують суму відхилень параболи з осями абсцис на прямих, що відповідають парам протилежних секторів. Її використання привело до значного погіршення результату.

Дослідження показали досить хорошу відновлюваність характеристик поля, як вихідні дані використовувалися результати аерогаммазйомки, проведені в районі аварії Чорнобильської АЕС. Такі дані є згладженими, вони фіксують не усі локальні неоднорідності поля. По суті, сам метод отримання вимірювань в даному випадку виступав фільтром.

У дисертації розглядалися ряд інших підходів, заснованих на використанні методів інтерполяції при обробці даних радіаційної розвідки, зокрема:

- адаптивні сітки;
- триангуляція.

Проте, використання цих методів, на наш погляд, не має істотної переваги перед розглянутими вище підходами і, крім того, призводить до зростання складності алгоритмів обробки інформації про РЗМ.

Таким чином, інтерполяційні методи можуть бути використані для опису поля РЗМ практично будь-якої топології, причому, найкращі результати досягаються при достатній щільності вимірювань ПДВ, які проведені з високою точністю і рівномірно в районі ведення розвідки. Виконання таких умов, при недовілі часу на прийняття рішення і існуючих технічних засобах дозиметрії,

дуже проблематично. У автоматизованих системах контролю радіаційної обстановки інтерполяційні методи можуть використовуватися за наявності широко розгалуженої мережі стаціонарних датчиків, зв'язаних з каналами зв'язку.

Основними недоліками таких методів є :

- ігнорування кореляційного зв'язку між різними вимірами ПДВ;
- нечутливість до апіорної інформації про осередки і умови формування поля РЗМ;
- придатність тільки для одноразового виявлення РО.

1.4.3. Застосування методу стохастичної апроксимації для опису поля радіоактивного забруднення місцевості

Інтерпретація даних радіаційної розвідки за допомогою інтерполяційних методів не дозволяє використати апіорну інформацію про параметри осередка і умови формування РЗМ. Спільний облік в обробці цих даних дозволив би поєднати етапи прогнозування і виявлення фактичної обстановки в єдиний процес.

Рішенню цієї задачі присвячена робота [25]. Суть цього підходу полягає в уточненні компонент вектору:

$$G = \{Q, X, Y, T, W, U, \alpha\}, \quad (1.30)$$

де Q, X, Y, T, W – вектори параметрів осередка РЗМ : потужності, координат, часу і типу;

U, α – вектори, що характеризують швидкість і напрям вітру.

Уточнення вектору G здійснюється спеціальною рекурентною процедурою, відомою як метод стохастичної апроксимації [26].

Запропонований метод дозволяє, використовуючи дані радіаційної розвідки, коригувати положення осі одиничного сліду. Корекція здійснюється за рахунок повороту і вигину сліду радіоактивного забруднення місцевості.

Необхідними умовами успішної роботи цієї методики є [28]:

- наявність інформації про координати, тип і потужність осередка радіоактивного забруднення;
- наявність інформації про метеоумови у момент формування сліду радіоактивної хмари;
- топологія поля РЗМ має бути досить близька до початкової моделі.

Якщо такі умови виконуються, то виникає питання, модель чи будь-якого поля можна уточнити за допомогою корекції прогнозу? Аналіз літератури показав [27,28,29], попри те, що моделі прогнозу радіоактивного забруднення місцевості створені на основі обробки дослідних даних, виникають ситуації, коли поле РЗМ не може бути описане існуючим математичним апаратом. Наприклад, на схемах фактичного РЗМ при підземному ядерному вибуху [28] слід радіоактивної хмари роздвоюється. Це пояснюється тим, що після викиду ґрунту, стався розрив між пиловим стовпом і безпосередньо радіоактивною хмарою, а значна різниця у напрямі вітру на різних висотах привели до того, що від району осередка одного вибуху утворилися два сліди. При аваріях на атомних електростанціях, коли радіоактивна хмара поширюється в приземному шарі атмосфери, відхилення від моделі можуть бути ще значнішими. Крім того, форма сліду може значно змінюватися внаслідок локальних неоднорідностей [29]. Якщо ж розглядається старий слід, то в цьому випадку його топологія ще більше відрізняється від модельованої в наслідок перенесення радіонуклідів, дезактивації, інженерного перевлаштування районів.

Розробка методик використання методу стохастичної апроксимації для виявлення фактичного радіоактивного забруднення місцевості проводилася з розрахунку на радіаційну обстановку, що склалася в результаті ядерних вибухів. Ситуація, що виникає при аварії на атомній електростанції, має ряд відмінностей [30] внаслідок того, що осередок радіоактивного забруднення повинен розглядатися як пульсуючий, з продуктивністю викиду, що змінюється.

Таким чином, метод стохастичної апроксимації може використовуватися для виявлення фактичної радіаційної обстановки за наявності апіорної

інформації про осередки радіоактивного забруднення і у разі, якщо описуване поле близьке до модельного.

Розроблені методики, що використовують метод стохастичної апроксимації, є машинними і вимагають для своєї реалізації значних обчислювальних ресурсів.

1.4.4. Використання методу лінійної оптимальної інтерполяції для обробки даних радіаційної розвідки

Уперше використання методу лінійної оптимальної інтерполяції (МЛОІ) для виявлення фактичного РЗМ було запропоноване в роботі [30]. В цьому випадку, РЗМ розглядається як випадковий процес $F(p)$, представлений дискретними вимірами ПДВ, зі своїми n -мірними функціями розподілу [26].

У практичних цілях був запропонований спосіб регулярного дискретного представлення процесу у вигляді:

$$F(p) = \{\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m\}, \quad (1.31)$$

де θ_i – вектор, що характеризує випадковий процес в його перерізі, заданому координатами $p = (x_i, y_i, t_i)$;

m - кількість перерізів випадкового процесу.

Вектор θ_i є характеристикою радіоактивного забруднення місцевості. Він визначається залежно від початкової інформації ;

$$\theta_i = \begin{cases} \Psi_1(Q, U) \\ \Psi_2(Q, U, P) \\ \Psi_3(U, P, T) \\ \Psi_4(P, T) \end{cases}, \quad (1.32)$$

де Q, U, P – вектори характеристик осередків РЗМ, метеообстановки і даних радіаційної розвідки;

T – вік продуктів радіоактивного розпаду;

Ψ_j – деякі безперервні функції.

Таким чином, у вузлах сітки розраховуються значення компонент вектору θ_i , що дозволяє відстежувати зміни характеристик поля РЗМ і уточнювати їх при надходженні нових даних радіаційної розвідки.

Зміна ПДВ в часі визначається відповідно до закону Вея-Вигнера. При цьому коефіцієнт спаду сам є функцією від часу. Отже, виникає необхідність зберігати у вузлах сітки обчислені значення функції щільності розподілу параметрів [30]:

$$\theta_i = \{\Psi_1(P_i), \Psi_2(T_i), \Psi_3(n_i)\}, \quad (1.33)$$

де $\Psi_1(P_i)$, $\Psi_2(T_i)$, $\Psi_3(n_i)$ – функції щільності розподілу в i -тому перерізі випадкового процесу ПДВ, віку продуктів розпаду і коефіцієнта спаду.

Апроксимацією функцій щільності розподілу можна отримати оцінки значень компонент вектору θ_i при надходженні нових даних.

Тоді, для знаходження потужності дози випромінювання в перерізах випадкового процесу необхідно вирішити завдання інтерполяції [10]:

$$P(\rho_i) = \sum_j^m W_j^k P_0(\rho_{ij}), \quad (1.34)$$

де W_i – вагова функція;

k – ступінь поновлюючого полінома;

$P_0(\rho_{ij})$ – вибірка випадкового процесу $F(p)$;

$\rho_i = (x_{ij}, y_{ij}, t_j)$ – вектор.

Вагова функція W_i для поля РЗМ знайдена за умови, що виконуються наступні обмеження на похибки виміру ПДВ: вони не пов'язані з істинним значенням реалізації випадкового процесу, їх величини постійні і некорельовані:

$$W_k = \frac{R_u(\rho_0 - \rho_k)}{\sum_j^m R_u(\rho_0 - \rho_k)}, \quad (1.35)$$

де $R_u(\rho_0 - \rho_k)$ – автокореляційна функція випадкового процесу.

Тепер можна визначити дисперсію розрахованих значень характеристик поля:

$$D = \sum_{j=1}^m R_u(\rho_0 - \rho_j) - 2 \sum_{j=1}^m W_j R_u(\rho_0 - \rho_j) - D_i + 2 \sum_{j=1}^m W_j^2 D_i, \quad (1.36)$$

де D_i – похибка виміру ПДВ.

Даний апарат легко реалізується на ЕОМ, проте вимагає знання автокореляційної функції випадкового процесу. Крім того, такий підхід застосований тільки до однорідного і ізотропного поля РЗМ, що реально не досягається. Тому був запропонований підхід, пов'язаний з використанням методу лінійної оптимальної інтерполяції, заснований на представленні поля РЗМ у вигляді сукупності локально-однорідних областей (ЛОО).

На розміри і форму локально-однорідної області впливають багато факторів, але далеко не усі з них будуть відомі при обробці даних радіаційної розвідки. Незважаючи на це, з'являється принципова можливість врахувати апіорну інформацію про топологію поля через параметри кореляційної (структурної) функції. Проте вичислити значення цієї функції не завжди представляється можливим, хоча для окремих випадків рішення було знайдене.

У зв'язку з цим, було запропоновано уточнювати межі ЛОО для кожного вузла інтерполяції залежно від наявності апіорної інформації про топологію поля РЗМ. Уточнення полягає у виключенні з вибірки вимірювань ПДВ даних, що не відносяться до області s_i , і включенні інформації, що відноситься до неї. При цьому було показано, що статистичні властивості вибірки покращуються, а кількість інформації в ній збільшується.

Були розглянуті чотири різні інформаційні ситуації і запропоновані методики визначення меж ЛОО.

Якщо апріорна інформація про поле РЗМ відсутня, тобто немає даних про залежність між кореляційним зв'язком і вибраним напрямом, ЛОО набуває форми круга. Було показано, що в цьому випадку:

$$R=2,5 r \quad (1.37)$$

де R – радіус локально-однорідної області;

r – середня відстань між точками вимірювань ПДВ у вибірці.

Реально R не може бути менше нормативної відстані між точками вимірювань, встановленого для датчиків автоматизованої системи контролю радіаційної обстановки.

У разі, коли відома інформація про осередки радіоактивного забруднення, але невідомі (чи застаріли) дані про вітер, ЛОО є також кругом, але з вибірки виключаються ті значення ПДВ, які суперечать обмеженням на однорідність і ізотропну.

Якщо ж є інформація про напрямок вітру у момент формування радіоактивного забруднення, то ЛОО набуває форми еліпса. Така конфігурація пояснюється тим, що значення градієнта на однаковому видаленні від осередка забруднення більше в поперечному перерізі сліду, ніж у подовжньому. Звідси витікає, що кореляційні зв'язки між перерізами випадкового процесу зберігаються на більшій відстані в подовжньому напрямі сліду, чим в поперечному.

Тоді визначення меж ЛОО можливо через уточнення його радіусу за допомогою масштабного множника μ_m :

$$\mu_m = \left(\sqrt{1 - \cos^2 \beta} \sqrt{1 - \left[(\rho_0 - r_0) \exp\left(-\frac{D_\alpha}{2}\right) + r_0 \right]^{-1} r_0^2} \right)^{-1}, \quad (1.38)$$

де β – полярний кут, рад;

ρ_0 – параметр, що показує співвідношення довжини і ширини сліду осередка радіоактивного забруднення;

r_0 – відстань між перерізами випадкового процесу, при якому значення автокореляційної функції дорівнює нулю;

D_α – дисперсія визначення напрямку вітру.

Проведені дослідження показали [10], що такий підхід прийнятний при нескладній топології поля РЗМ, яка характерна для радіоактивних слідів впродовж декількох перших годин після їх формування.

За наявності повної інформації про осередки РЗМ і метеообстановці можливо провести точніші розрахунки меж ЛОО, проте це є трудомістким процесом і вимагає наявності значних обчислювальних ресурсів.

Таким чином, запропонована в роботах [1-21] методика обробки даних розвідки на основі методу лінійної оптимальної інтерполяції дозволяє:

- накопичувати в розрахункових вузлових точках поля РЗМ інформацію за даними радіаційної розвідки;
- враховувати апріорну інформацію про структуру поля РЗМ, тобто осередках забруднення і метеообстановці у момент його формування;
- не робити перерахунку по усій вибірці вимірювань при надходженні нової інформації, а тільки в межах ЛОО;
- проводити обробку даних радіаційної розвідки на слідах практично з будь-якою топологією на будь-який час після формування слідів РЗМ;
- проводити обробку даних при середній щільності точок вимірювань ПДВ не менше 0,1 точки на км² [10];

у більшості випадків обробляти інформацію про РЗМ в АСКРО і СУВ в реальному режимі часу, не вимагаючи значних обчислювальних ресурсів.

Головний недолік запропонованого підходу полягає в тому, що метод може давати зміщені оцінки обчислюваних параметрів на межі району ведення

радіаційної розвідки і, як показали дослідження, досить ефективний для вибірок об'ємом 20 – 30 точок вимірювань ПДВ.

Крім того, в розглянутій методиці не враховується можливість побудови розмежованих ЛОО для кожної розрахункової точки поля по аналізу зміни величини і напрямку градієнта ПДВ в її межах [31]. Такий підхід може понизити похибки розрахунку параметрів поля РЗМ.

Рішення цієї задачі буде розглянуто в другому розділі роботи.

Наступний момент, який може знайти відображення в МЛОІ, це обробка даних радіаційної розвідки, що поступили від різних джерел інформації, що мають різну похибку вимірювань. Традиційний підхід передбачає, що у разі, якщо є дані про один і той же район, отримані від технічних засобів з різною похибкою виміру, використовуються лише дані, виміряні з меншою похибкою. Тому логічним є, не ігнорувати таку інформацію, а враховувати її, увівши додатковий коефіцієнт достовірності вимірювань, значення якого буде обернено пропорційно до похибок виміру.

Слід також відмітити, що існують і інші підходи до обробки даних про радіоактивне забруднення місцевості, подібні до розглянутого вище на основі МЛОІ. У роботі був розглянутий емпіричний підхід, в якому також передбачалося відновлення значень характеристик поля за допомогою вагових коефіцієнтів. В цьому випадку результати вимірювань інтерполювалися на вузли рівномірної сітки по наступній формулі:

$$\hat{p} = \frac{\sum_j p_j f_j(p)}{\sum_j f_j(p)}, \quad (1.39)$$

де $\hat{p}$ – розраховане значення ПДВ, рад/год;

p_j - виміряне значення ПДВ, рад/год;

$f_j(p)$ - вага значення в j -ій точці:

$$f_j(p) = \exp\left(-\frac{9}{2} \cdot \frac{r_j^2}{(k \cdot d)^2}\right), \quad (1.40)$$

де r_j – відстань від j -ої точки до вузла інтерполяції, км;

d – крок сітки, км;

k – корегуючий параметр, що за умовчанням приймається рівним двом.

Усереднювання проводилося по значеннях вимірювань, що лежать усередині найближчих до вузла прямокутних осередків сітки до глибини k .

Інтерполяційна функція для усього району будувалася з кінцевих елементів, кожен з яких був параболою виду:

$$P(x, y) = \hat{p}_1 + \left(\hat{p}_4 - \hat{p}_1\right)x + \left(\hat{p}_2 - \hat{p}_1\right)y + \left(\hat{p}_3 - \hat{p}_4 + \hat{p}_1 - \hat{p}_2\right)xy, \quad (1.41)$$

де $\hat{p}_j$ – розраховані значення ПДВ у вузлах сітки, рад/год;

$x, y \in [0, 1] \cdot [0, 1]$ – відносні координати точки усередині осередку сітки з областю визначення на ній.

Подібний вид інтерполяційних елементів автоматично забезпечує безперервність функції в цілому.

Ізолінії можуть бути побудовані як графіки функції, зворотної до інтерполяційної, кожен елемент якої виглядає таким чином:

$$y = \frac{P_0 - P_1 - (P_4 - P_1)x}{P_2 - P_1 + (P_3 - P_4 + P_1 - P_2)x}, \quad (1.42)$$

де P_0 - задане значення ізолінії, рад/год.

Безперервність інтерполяційної функції дозволяє будувати ізолінію усередині кожного осередку незалежно. Такий підхід не вимагає застосування механізму відстежування ізоліній. Головний недолік цієї методики полягає в тому, що вона практично не враховує локальної неоднорідності поля РЗМ і використовувалася тільки для обробки даних аварії на ЧАЕС. Автори

спробували вирішити це питання, ввівши обмеження на розмір області інтерполяції, проте ніяк не зв'язали його з топологією поля РЗМ.

Методика може бути використана в автоматизованих системах контролю радіаційної обстановки для експрес-аналізу результатів радіаційного моніторингу при значному об'ємі точок контролю.

Розглядалися і інші емпіричні підходи, наприклад, на основі "бустреп"-метода [47], проте і вони не дозволяли враховувати апіорну інформацію про поле РЗМ.

Таким чином, методика відновлення поля РЗМ на основі методу лінійної оптимальної інтерполяції на ЛОО сьогодні є найбільш перспективною для використання в АСКРО і СУВ, але вимагає подальшого розвитку в частині розробки методу побудови розділяючих меж поля РЗМ по вибірці вимірювань і уточнення виду кореляційної і вагової функцій поля РЗМ.

1.5. Визначення кореляційних зв'язків між різними перерізами поля радіоактивного забруднення місцевості

1.5.1. Апроксимація структурної функції для опису поля радіоактивного забруднення місцевості. Відновлення поля РЗМ можливо з використанням структурної функції. В цьому випадку як критерій якості відновлення характеристик поля приймається середнє значення різниці між істинною величиною ПДВ і її оцінкою $\wp$:

$$\wp^2 = M \left\{ \left(P_0 - \hat{P} \right)^2 \right\} \rightarrow \min , \quad (1.43)$$

де P_0 – істинне значення ПДВ, рад/год;

$$\hat{P} = \sum_{i=1}^n h_i P_i , \quad (1.44)$$

P_i - потужність дози випромінювання в i -ій точці радіаційного поля;

h_i - ваговий коефіцієнт, що враховує вклад i -ої точки в значення величини $\wp^2$;

n - кількість точок вимірювань ПДВ у вибірці.

Тоді, завдання зводиться до пошуку таких вагових коефіцієнтів, які обертали б в мінімум величину $\wp^2$.

Таке завдання було вирішене для поля одиничного викиду радіоактивних речовин і отримана формула апроксимації структурної функції для поля одиничного викиду:

$$b(l) = \exp(-3.3725/l - 1.5685 \cdot 10^{-2} \cdot l + 1.0618), \quad (1.45)$$

де $l = |r_1 - r_2|$;

r_1, r_2 - відстань від 1-ої і 2-ої точок вимірювань ПДВ до осередка радіоактивного забруднення, км.

Враховуючи, що однорідність поля РЗМ є наближеною, використання структурної функції, можливо, приведе до кращих результатів, в порівнянні з кореляційною [32]. Це пояснюється тим, що для таких полів, похибка при використанні кореляційної функції може бути більшою.

Проте дослідження працездатності методу оптимальної лінійної інтерполяції із застосуванням структурної функції проводилися на вибірках, змодельованих без урахування похибок вимірювальної апаратури, які, як відомо, можуть складати 30% і більше. Крім того, ймовірно, на якості роботи методики позначається похибки у визначенні координат точок вимірювань ПДВ.

Застосування структурної функції в якості функції зв'язку не передбачає використання апіорної інформації про структуру поля РЗМ. Відновлення характеристик в перерізах поля робиться на основі обробки усієї вибірки значень ПДВ, причому об'єм обчислень збільшується в геометричній прогресії по відношенню до кількості точок вимірювань. Тому, реалізація такого підходу зажадає значних обчислювальних ресурсів.

В якості вихідних даних, що вимагаються для роботи даної методики, зокрема, потрібні координати осередка радіоактивного забруднення. З практичної точки зору, це накладає певні обмеження на використання методу, оскільки така інформація при застосуванні диверсійних методів може бути відсутньою. Дослідження впливу похибок визначення координат осередка забруднення на працездатність методики не проводилися.

Структурна функція (1.45) описує поле РЗМ одиничного викиду радіоактивних речовин. Реально можливі ситуації, коли сліди радіоактивних хмар накладатимуться один на одний.

Це робить неможливим використання даної методики в АСКРО і не дозволяє застосовувати її в СУВ для вирішення завдань, пов'язаних із забезпеченням радіаційної безпеки.

1.5.2. Використання автокореляційної функції для опису поля радіоактивного забруднення місцевості. Дослідження можливості використання автокореляційної функції в якості функції зв'язку проводилося в роботах [10].

Було показано, що при обмеженнях на стаціонарність і ізотропну випадкового процесу, вагова функція (1.35) залежить тільки від значення нормованої автокореляційної функції.

В результаті дослідження була отримана апроксимація автокореляційної функції:

$$R_u(r) = D \cdot e^{-ar^2} (1 - r/r_0), \quad (1.46)$$

де $R_u(r)$ – автокореляційна функція випадкового процесу;

D – дисперсія відхилень розрахованого значення ПДВ від його істинного значення;

a – корегуючий параметр;

r – відстань між точкою виміру ПДВ і точкою інтерполяції;

r_0 - відстань між перерізами випадкового процесу, при якому значення автокореляційної функції дорівнює нулю.

Критеріями вибору залежності (1.46) стали:

мінімальне значення квадрата відхилень відновлених параметрів вибірки значень ПДВ від отриманих або заданих її значень:

$$\min \{D_1, D_2, \dots, D_n\}; \quad (1.47)$$

мінімальний час визначення характеристик випадкового поля у вузловій точці:

$$\min \{t_1, t_2, \dots, t_n\}; \quad (1.48)$$

$$D_i = M\{[P_u(x) - P^*(x)]\}, \quad (1.49)$$

де $P_u(x)$ - виміряне значення ПДВ, рад/год;

$P^*(x)$ - відновлене з використанням методу оптимальної лінійної інтерполяції значення ПДВ, рад/год.

У виразі (1.46) великий інтерес уявляє параметр **a**, який може змінюватися в межах від 0,1 до 20. Вплив значення цього корегуючого параметра на вигляд автокореляційної функції показаний на рис. 1.2.

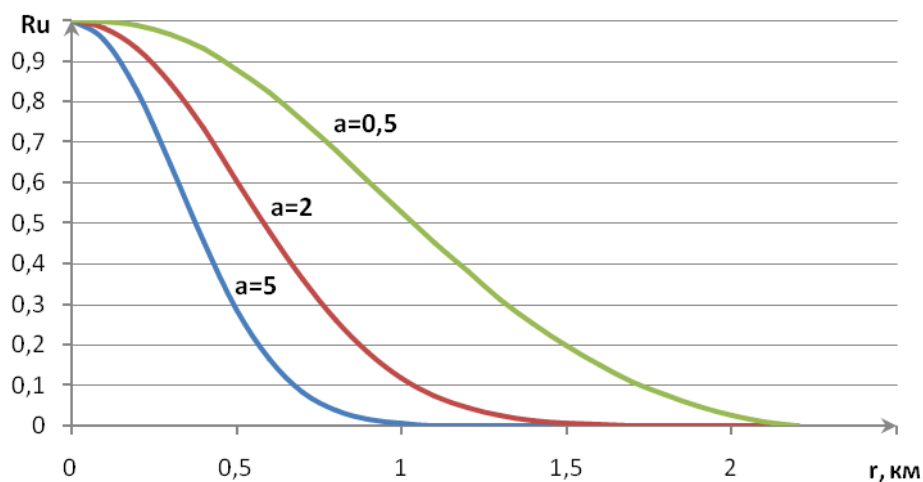


Рис.1.2. Зміна виду автокореляційної функції залежно від значення корегуючого параметра **a**

При збільшенні значення параметра a , збільшується вклад точок вимірювань, що знаходяться поблизу точки інтерполяції, і зменшується вплив точок, що знаходяться біля межі ЛОО. Якщо корегуючий параметр зменшується, то в результаті перерозподілу зв'язків взаємного впливу точок інтерполяції, дещо збільшується значення видалених точок.

У роботі були дані рекомендації по вибору значення корегуючого параметра. При обробці даних радіаційної розвідки, отриманих на полях із складною топологією, параметр a слід збільшувати. Якщо радіаційне поле порівняно однорідне, то зменшувати. Ці рекомендації витікають з фізичного сенсу корегуючого параметра.

Проте, ймовірно, цим не обмежується область впливу даного параметра. Логічно припустити, що він робитиме вплив на якість інтерполяції при обробці даних радіаційної розвідки, отриманих від технічних засобів, що мають різну похибку виміру ПДВ.

Дійсно, дослідження показали, що значення параметра a може істотно вплинути на якість інтерполяції. Так, при обробці даних радіаційної розвідки, змодельованих з похибкою 10%, розподіленою за нормальним законом, при збільшенні значення корегуючого параметра вдалося зменшити похибку інтерполяції майже у двічі. При великих похибках виміру ПДВ, близько 300%, величина значення a істотного впливу не має.

Отже, може бути сформульована наступна рекомендація по вибору значення корегуючого параметра. Чим вище точність виміру ПДВ, тим більшим має бути значення параметра a .

У пункті 1.3.2 були описані підходи до уточнення форми ЛОО, які дозволяють змінювати розміри і форму локально-однорідного елемента залежно від наявності апріорної інформації. Такий прийом правомірний, якщо поле РЗМ близько до модельного, зберігає основні характеристики моделі, що описує радіоактивне забруднення. Але реальні поля можуть істотно відрізнятися від модельних (рис.1.3).

Це підтверджують дослідження РЗМ, проведені в районі аварії Чорнобильської АЕС [32].

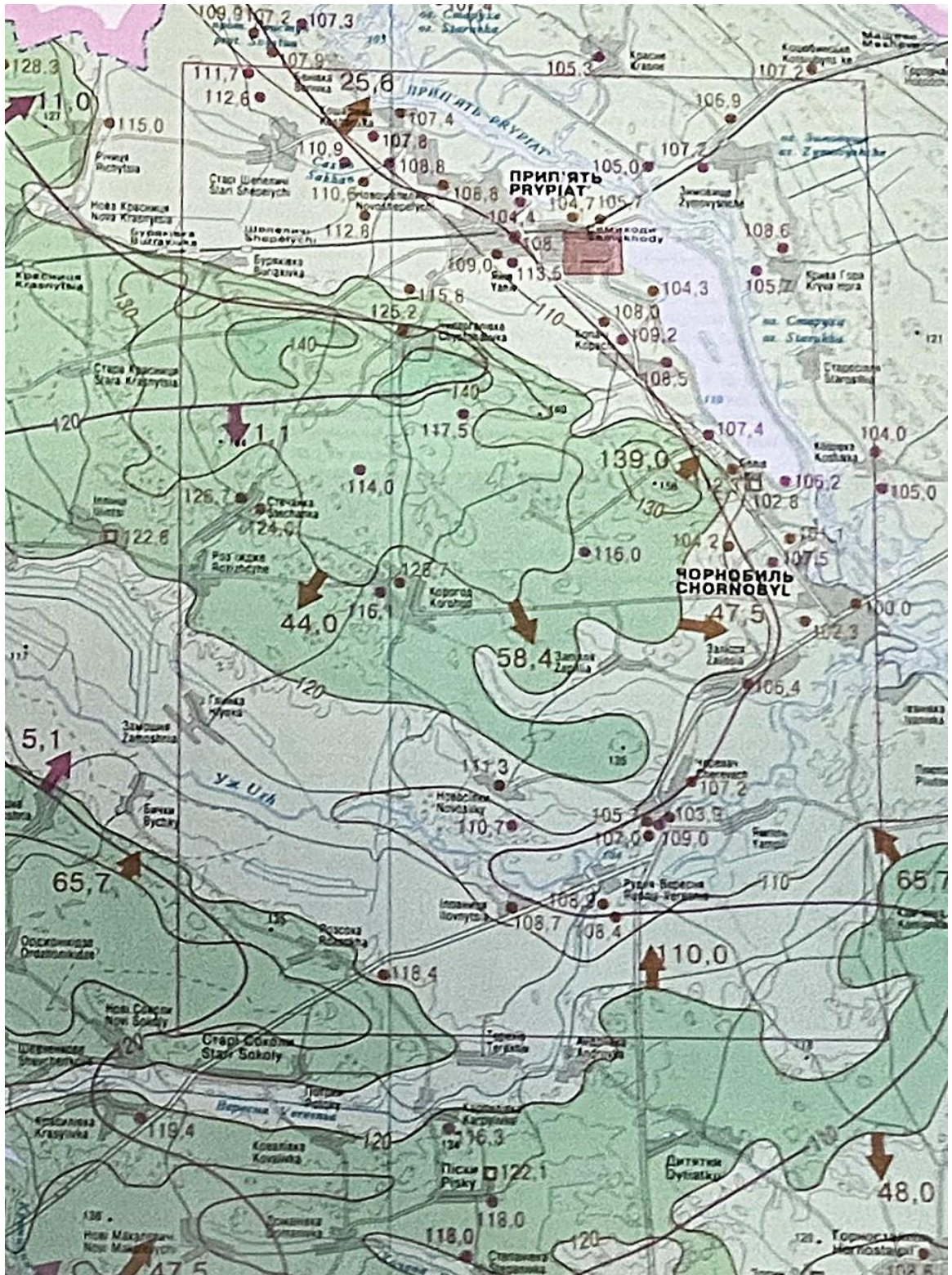


Рис.1.3. Карта радіаційного забруднення місцевості

Виходячи з вищезазначеного, завдання полягає у визначенні способу уточнення кореляційної функції на полях складної топології. Методика заснована на параметричному налаштуванні кореляційною і ваговою функцій по навчальній вибірці. Проте у зв'язку з тим, що вимірювання ПДВ в одних і тих точках реально можуть не проводитися, класичні методи "навчання" в даному випадку не застосовуються. Крім того, при обробці даних радіаційної розвідки виникає ряд інших особливостей. До них можна віднести некомпактність вибірки, обмеження за часом роботи алгоритму корекції.

Отже, на першому етапі необхідно сформувати навчальну вибірку. Це може бути здійснено шляхом виділення з усієї вибірки даних радіаційної розвідки компактної множини $S \in S$, з якої виключаються вимірювання $P_i \in S$, що лежать на його межі :

$$(P_i \in S) \cup (P_i \in \partial S), \quad (1.50)$$

де ∂S - межа множини.

Способи виділення компактних великих множин сьогодні добре розроблені. До них відносяться алгоритми самонавчання з пошуком моди , класифікації за правилом "найближчого сусіда", потенційних функцій, варіацій М.И. Шлезингера [22-30] та інших.

У роботі були запропоновані наступні критерії ефективності для параметричного налаштування кореляційної функції:

$$\min \sum_i (P_i - P_i^0); \quad (1.51)$$

$$\varepsilon_{\max} \leq \varepsilon_{\max}^z; \quad (1.52)$$

$$t \leq t_z, \quad (1.53)$$

де P_i – значення ПДВ в навчальній вибірці вимірювань, рад/год;

P_i^0 – значення ПДВ в тих же точках, що і в навчальній вибірці, але отримані шляхом подвійного розрахунку: спочатку на сітку $F(p)$ методом лінійної оптимальної інтерполяції, а потім назад на вихідні точки, рад/год;

$\varepsilon_{\max}, \varepsilon_{\max}^Z$ – максимальна відносна похибка у вибірці вимірювань, максимальна відносна задана похибка відповідно;

t_z – допустимий час роботи алгоритму.

У запропонованому способі, адаптивне підстроювання кореляційної функції здійснювалося за двома параметрами:

крок сітки h_s ;

корегуючий параметр **a**.

Вихідними даними для роботи алгоритму параметричного налаштування кореляційної функції є:

D_z – граничне задане значення дисперсії відновлених значень ПДВ ;

t_z – встановлений граничний час роботи процедури адаптивного налаштування;

$\varepsilon_{\max}^Z$ – задана гранична максимальна відносна похибка відновлення ПДВ в точках виміру;

Δa - величина кроку корегуючого параметра **a** у вираженні для кореляційної функції.

Суть роботи алгоритму параметричного налаштування полягає в наступному. На першому етапі, відбувається формування повчальної вибірки, з використанням одного із способів, названих вище.

Потім визначається початкова величина корегуючого параметра (рекомендації по вибору значення параметра **a** описані вище), фіксується час початку роботи процедури підстроювання і розраховуються початкові значення дисперсії і максимальної відносної похибки відновлення значень ПДВ.

На наступному етапі відбувається підстроювання параметра **a**. Вихід з ітерації здійснюється досягши умов, що задовольняють користувача за

критеріями дисперсії і максимальної відносної похибки відновлення ПДВ, або досягши часу роботи алгоритму, рівного половині величини заданого часу.

Якщо в результаті першої ітерації задані умови (1.51, 1.52) не досягнуті, то починається підстроювання кроку між вузлами інтерполяції. Якщо зміна кроку сітки привела до необхідного результату, то робота алгоритму припиняється. У випадку якщо цього не вдалося досягти за час $t/2$, уточнюються вихідні дані.

Дещо інший підхід до визначення автокореляційної функції був використаний в роботі [32]. Нехай $z_i(x_i, y_i)$ – точка, в якій робився вимір. Початкова область розбивалася на M кілець рівної товщини K_m з центром в $z_i(x_i, y_i)$. Тому для кожного кільця може бути розрахована величина U_l^m , така, що:

$$U_l^m = \frac{\left(\sum_k z_k \right)}{l_m}, \quad (1.54)$$

де l_m - кількість $z_j: (x_j, y_j) \in K_m; l_m \neq 0$.

Повторивши цю операцію для $N_0 \leq N$ (N – загальна кількість вимірювань ПДВ) випадково вибраних точок, були отримані M пар погоджених в деякому розумінні рядів:

$$\{z_i, U_i^1\}, \{z_i, U_i^2\}, \dots, \{z_i, U_i^M\},$$

причому, у відповідний ряд включаються ті пари, для яких:

$$l_m^i \neq 0. \quad (1.55)$$

Потім по цих парах рядів стандартним чином були розраховані коефіцієнти кореляції $k_m, m=1, M$ і перевірені за критерієм Стюдента [18] їх рівні важливості H .

І далі по умові:

$$H \geq H_0 \quad (1.56)$$

відібрали M_0 перших коефіцієнтів кореляції.

Відновлення значення функції у вузлі проводили за формулою:

$$z_j = \frac{\sum U_j^m W_m}{\sum_m W_m}, \quad (1.57)$$

де W_m – коефіцієнти, які отримують за допомогою ітераційної процедури:

$$W_1 = k_s; \quad (1.58)$$

$$W_{i+1} = \left(1 - \sum_{j=1}^K W_j \right) k_{i+1} \quad (1.59)$$

де k_s – коефіцієнт кореляції, що відповідає першому з кілець, в якому є присутніми вимірювання;

K - число таких кілець.

Дисперсія у вузлі розраховується як:

$$D(z_i) = \frac{\sum D_j^m W_m}{\left(\sum_m W_m \right)^2}, \quad (1.60)$$

де D_j^m – дисперсія усередині m -го кільця навкруги j -го вузла сітки.

За наявності в кільці лише одного виміру, вибиралася середня для m -х кілець дисперсія, що отримується при побудові автокореляційної функції.

Для реалізації такого математичного апарату знадобиться значна кількість обчислювальних ресурсів. Крім того, потрібне проведення додаткових досліджень для визначення правил вибору значень товщини кілець і їх числа. Число і розміри кілець повинні залежати від щільності точок вимірювань і топології поля РЗМ. Таких досліджень сьогодні не проводилося. Перевірка працездатності такої методики здійснювалася на вибірках, що мають високу щільність вимірювань. Додаткового опрацювання вимагає також питання визначення автокореляційної функції на нерівномірних вибірках вимірювань. Недоліком такого підходу є відсутність можливості обліку апріорної інформації про осередки РЗМ.

Розглянутий раніше механізм визначення вагової функції через кореляційну функцію [8] дозволяє проводити адаптивне налаштування алгоритму на апріорну інформацію для полів РЗМ з топологією, близькою до модельної, а на полях із складною топологією – підлаштовувати окремі параметри методу оптимальної лінійної інтерполяції за допомогою самонавчання по вибірці вимірювань ПДВ.

Висновки до розділу 1

1. Аналіз різних моделей радіоактивного забруднення місцевості показав, що сьогодні найбільш перспективним є квазістаціонарний підхід, що дозволяє зважати на специфіку аварійних ситуацій на об'єктах ядерної енергетики, що полягає у відносно тривалому витіканні радіоактивних продуктів з аварійного реактора.

Методика Пасквилла-Гиффорда, яка орієнтована на особливості автоматизованих систем контролю радіаційної обстановки, дозволяє уточнювати параметри моделі за показаннями датчиків і тим самим підвищувати її достовірність. В той же час, за певних умов, модель може некоректно описувати радіоактивне забруднення місцевості, причому, чим більше часу пройшло з моменту аварії, тим нижче достовірність моделі.

2. На основі аналізу наукових розробок в області виявлення фактичного РЗМ за даними радіаційної розвідки встановлено, що сьогодні досить добре розроблені методи опису поля радіоактивного забруднення місцевості при достатній повноті даних радіаційної розвідки і спостереження, засновані на сплайн-аппроксимациі і методі лінійної оптимальної інтерполяції.

Особливістю методу оптимальної лінійної інтерполяції на локально однорідних областях, на відміну від інших підходів, є можливість обліку апріорної інформації, що зменшує похибки відновлення поля радіоактивного забруднення місцевості.

В той же час, для малих і некомпактних вибірок вимірювань потужності дози випромінювання ці методи непридатні, навіть в тих випадках, коли топологія поля близька до модельованої.

3. Найбільш перспективним шляхом розвитку методів відновлення характеристик поля РЗМ на вибірках ПДВ з малою щільністю вимірювань є алгоритм послідовної параметричної адаптації моделі РЗМ даними радіаційної розвідки. Проте цей метод, запропонований для АСУ, не враховує можливості автоматизованих систем контролю радіаційної обстановки, у тому числі наявність стаціонарних датчиків інформації, можливість здійснювати управління збором даних та інше, що вимагає його подальшого розвитку і вдосконалення.

4. Існуюче математичне забезпечення графічного відображення зон (районів) радіоактивного забруднення місцевості, в цілому, відповідає рівню сучасних вимог і може використовуватися в автоматизованих системах контролю радіаційної обстановки і автоматизованих системах управління.

РОЗДІЛ 2.

ТЕХНОЛОГІЯ ОЦІНКИ ПОСЛІДОВНОЇ ПАРАМЕТРИЧНОЇ АДАПТАЦІЇ РАДІОАКТИВНОГО ЗАБРУДНЕННЯ МІСЦЕВОСТІ ЗА ДАНИМИ РОЗВІДКИ

Розглянуті в попередньому розділі підходи до обробки даних про РЗМ відносяться до таких інформаційних ситуацій, коли щільність точок контролю радіаційної обстановки була достатньою для відновлення поля радіоактивного забруднення місцевості. Це відноситься до тих випадків, коли відстань між точками вимірювань значно менша відстані, на якій зберігаються кореляційні зв'язки між перерізами випадкового процесу.

Реально, під час аварії на радіаційно небезпечних об'єктах, рішення на забезпечення радіаційної безпеки будуть прийматися до того часу, коли в органи управління надійде інформація в повному і достатньому об'ємі. В розділі вирішено завдання технології оцінки послідовної параметричної адаптації моделі радіоактивного забруднення місцевості даними радіаційної розвідки, а також розробки алгоритмів обробки даних про РЗМ в умовах недостатньої повноти вихідних даних. Вирішення цієї задачі засновані на ідеї виділення з малих вибірок вимірювань потужності дози випромінювання, за певних умов, так званої, структурної інформації про поле радіоактивного забруднення місцевості. Запропонований в роботі збільшений алгоритм послідовної параметричної адаптації прогностичної моделі показав принципову можливість формалізації цього процесу при РЗМ від ядерних вибухів.

Даний розділ присвячений вирішенню цих актуальних питань, а також розробці методик уточнення меж локально-однорідної області по наявній вибірці вимірювань і екстраполяції в часі характеристик поля РЗМ.

2.1. Модель радіоактивного забруднення місцевості, що параметризується.

Достовірність прогнозу як в першому, так і в другому випадках залежить від достовірності джерел інформації, тобто чим точніше дані про осередок радіоактивного забруднення і метеодані, тим надійніше прогноз. Очевидно, що на якості прогнозу позначаються не лише похибки визначення параметрів осередків радіоактивного забруднення (координати осередка, потужність викиду, час), але і наявність незареєстрованих або хибних (що не мали місця насправді) джерел. Слід зауважити, що при пульсуючому характері викидів радіоактивних речовин з аварійного реактора, кожен такий викид може розглядатися як самостійний осередок радіоактивного забруднення.

У роботі проведені дослідження за визначенням впливу рельєфу місцевості на точність визначення виду вибуху. Вид вибуху є одним з найзначиміших показників, що впливають на масштаби РЗМ. Так, при невірному визначенні виду вибуху потужністю 10 тис.т сумарна розрахована площа зон забруднення може бути занижена в 6,9, а для вибуху - 100 тис.т - в 5,2 рази. Крім того, в прогнозі не будуть присутніми зони небезпечного і надзвичайно небезпечного забруднення. Неважко уявити, як відіб'ються такі похибки прогнозування на точності визначення доз випромінювання особового складу і радіаційних втрат.

При аварії ядерної енергетичної установки може бути використана наступна модель [32]:

$$D_x = K_w \frac{10^\alpha}{u_p^\beta \cdot x^\gamma} \cdot \mathfrak{I}; \quad (2.1)$$

$$D_{xy} = D_x \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right); \quad (2.2)$$

$$D_t = D_0 \cdot 0.5 \left[1 - \operatorname{erf} \left(\sqrt{k} \cdot \ln \frac{t}{t_{50}} \right) \right], \quad (2.3)$$

де D_x – потужність дози випромінювання на осі сліду через 1 годину, рад/год;

u_p – середня швидкість вітру в шарі 0-200 м, м/с;

α, β – коефіцієнти, які залежать від категорії стійкості атмосфери і типу ядерного реактора;

$$\gamma = a - b \lg u_p;$$

a, b – регресійні коефіцієнти, які залежать від категорії стійкості атмосфери і типу ядерного реактора;

x – відстань від АЕС по осі сліду, км;

$\mathfrak{Z}$ – поправочний коефіцієнт, що враховує збільшення потужності дози на початковій ділянці сліду;

$$K_w = 10^{-4} n \eta_p W;$$

n – кількість ядерних енергетичних реакторів (ЯЕР);

η_p – доля радіоактивних речовин, викинутих з ЯЕР %;

W – електрична потужність ЯЕР, МВт;

D_{xy} – потужність дози випромінювання в перпендикулярному напрямі від осі сліду на відстані y км, рад/год;

$$\sigma_n = \frac{C_3 x}{\sqrt{1 + 0,1x}}; \quad (24.)$$

C_3 – коефіцієнт, залежний від категорії стійкості атмосфери;

D_t – потужність дози випромінювання на момент часу t після аварії, рад/год;

D_0 – потужність дози випромінювання на момент часу 0 після аварії, рад/год;

$\sqrt{k}$ – параметр закону, залежний від типу ЯЕР і тривалість кампанії;

t – заданий час після аварії ЯЕР, год;

t_{50} – параметр закону (час, за який потужність дози D_0 зменшується в два рази), год;

$$\operatorname{erf}(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-z^2} dz - \text{інтеграл похибок.}$$

Ця модель вимагає наявності векторів параметрів об'єкту аварії V і метеоумов U .

На сьогоднішній день для прогнозу радіоактивного забруднення місцевості, внаслідок підриву ядерного боєприпасу (у тому числі здійснення диверсії або терористичного акту), може використовуватися наступна модель [63]:

$$\dot{X}(x) = \frac{q^{0,65} (1 - \eta_\gamma) \cdot t^{-1,2}}{K_1 \cdot u^{n_1}} \cdot \exp \left\{ -2,3 \left[0,6 \left(\lg \frac{x}{u \cdot q^{0,3}} + 2,1 \right)^2 - 1,3 \right] \right\}, \quad (2.4)$$

$$\dot{X}(y) = \dot{X}(x) \cdot \exp \left(-\frac{y}{2\sigma_y^2} \right), \quad (2.5)$$

$$\dot{X}_3(t) = \dot{X}_1 \cdot t^{-1,2}, \quad (2.6)$$

де $\dot{X}(x)$ – потужність дози гамма-випромінювання в точках на осі сліду, рад/год;

q – потужність ядерного вибуху, т;

η_γ – коефіцієнт термоядерності;

t – час, що пройшов після вибуху, год;

$K_1 = 1 + 0,07 \Delta \phi \lg^2 x$;

$\Delta \phi$ – середній градієнт розвороту вітру по висоті атмосфери, град/км;

u – швидкість середнього вітру, км/год;

$$n_1 = 1,14 + 0,26 \lg \frac{x}{u}; \quad (2.7,)$$

x – віддалення точки від центру (осередка) ядерного вибуху (по осі сліду), км;

$\dot{X}(y)$ – потужність дози гамма-випромінювання в точці на сліді, рад/год;

y - віддалення точки від осі сліду, км;

$$\sigma_y^2 = 2,75 \cdot 10^{-4} q^{\frac{2}{3}} + \frac{1}{u} (2 + 5\Delta\varphi)(0,1 + 0,15 \lg q) [x^{(0,25+0,3 \lg x)} - 0,8]; \quad (2.8.)$$

$\dot{X}_3(t)$ – потужність дози випромінювання в точці місцевості на якийсь час t , рад/год;

$\dot{X}_1$ – потужність дози гамма-випромінювання, обчислена по формулі (3.8.) при $t=1$ год. після вибуху, рад/год.

Ця модель, за наявності множини векторів параметрів ядерних вибухів (V_s) і метеоумов (U_s), описує РЗМ як поодинокого вибуху, так і масованого ядерного удару. При цьому необхідною умовою складання прогнозу є наявність двох множин V_s і U_s .

Достовірність прогнозу, з точки зору надійності прийнятих рішень, вкрай низька через неповноту інформації про джерела радіоактивного забруднення або великих похибок визначення їх параметрів. Виходячи з цього, як вже було відмічено вище, результати прогнозування мають бути обов'язково уточнені даними розвідки.

Рішення такої задачі можливе шляхом виявлення фактичного РЗМ за даними радіаційної розвідки. Проте, з одного боку, це вимагає досить великих витрат часу на збір даних радіаційної розвідки (з щільністю достатньої для виявлення фактичного РЗМ), а з іншої - після виявлення фактичної радіаційної обстановки відпадає необхідність у використанні прогнозу.

Було б логічне спробувати підвищити достовірність прогнозу не після повного виявлення РЗМ, а в той час, коли данні розвідки ще не повністю зібрані, а тільки частково поступили на пункт управління. При цьому, у разі потреби, треба уточнити, скоректувати прогноз.

Таким чином, ми стикаємося з окремим випадком завдання розпізнавання образів. Перші спроби вивчення можливостей автоматизації таких процесів відносяться до 50-х років минулого сторіччя. Сьогодні вже склалися основні

концепції теорії розпізнавання. Так, в роботі [10] сформульовані основні завдання, що виникають при розробці систем розпізнавання образів:

- представлення вихідних даних;
- виділення характерних ознак з отриманих вихідних даних і зниження розмірності векторів образів (попередня обробка і вибір ознак);
- побудова систем розпізнавання образів, відшукування оптимальних вирішальних процедур, необхідних при ідентифікації і класифікації.

Отже, для підвищення достовірності прогнозу РЗМ необхідно побудувати систему, що розпізнає, стійку по відношенню до перешкод, здатну впоратися з істотними відхиленнями розпізнаваних об'єктів і що має здатність до самонастройки, тобто вирішити завдання адаптації. Функціональна блок-схема такої системи зображена на рис. 2.1.

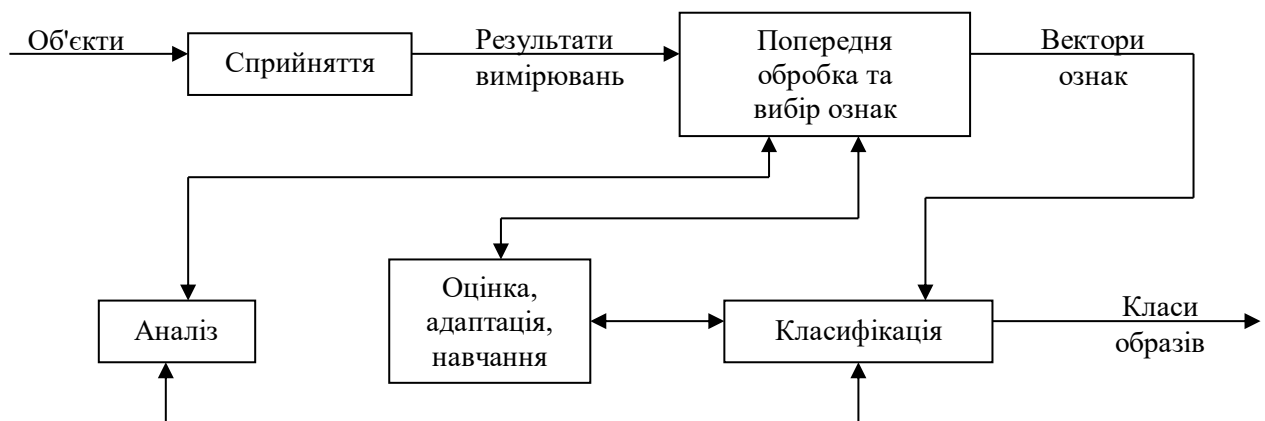


Рис. 2.1. Функціональна блок-схема адаптивної системи розпізнавання образів

У роботі проведено уточнення параметрів осередків радіоактивного забруднення по вимірних значеннях уражаючих факторів ядерного вибуху (надмірний тиск ударної хвилі, світловий імпульс, проникаюча радіація і потужність дози випромінювання). Проте, ці вимірювання мають бути вироблені в районі осередка ядерного вибуху, що робить отримання таких вимірювань проблематичним. Крім того, при обробці таких даних виникає завдання обліку похибок як при вимірі різних факторів, так і при вимірі одного і того ж фактора,

але різними технічними засобами, що призводить до необхідності вирішувати систему нелінійних трансцендентних рівнянь.

Ідея рішення задачі адаптації моделі РЗМ даними радіаційної розвідки, з використанням теорії розпізнавання образів представлена на рис. 2.2.

Аналіз показав, що точність визначення параметрів осередків радіоактивного забруднення залежать від точності виміру вражаючих факторів, кількості точок їх виміру і виду вражаючого фактора. Так, при оцінці по одному фактору, вимірюваному в 15 різних точках, середньоквадратична похибка може досягати 34%. А для збільшення точності розрахунків потрібно буде збільшити час програмованого рішення задачі в декілька тисяч разів. У разі аварії на атомній електростанції завдання ще більше ускладнюється.

Вихідні дані, представлені на схемі, позначені зірочкою. Це вказує на те, що величини, які розглядаються в даному випадку, інтерпретуються тільки як параметри моделі РЗМ, що дозволяє на етапі адаптації змінювати значення параметрів з метою максимально узгодити модель з даними радіаційної розвідки.

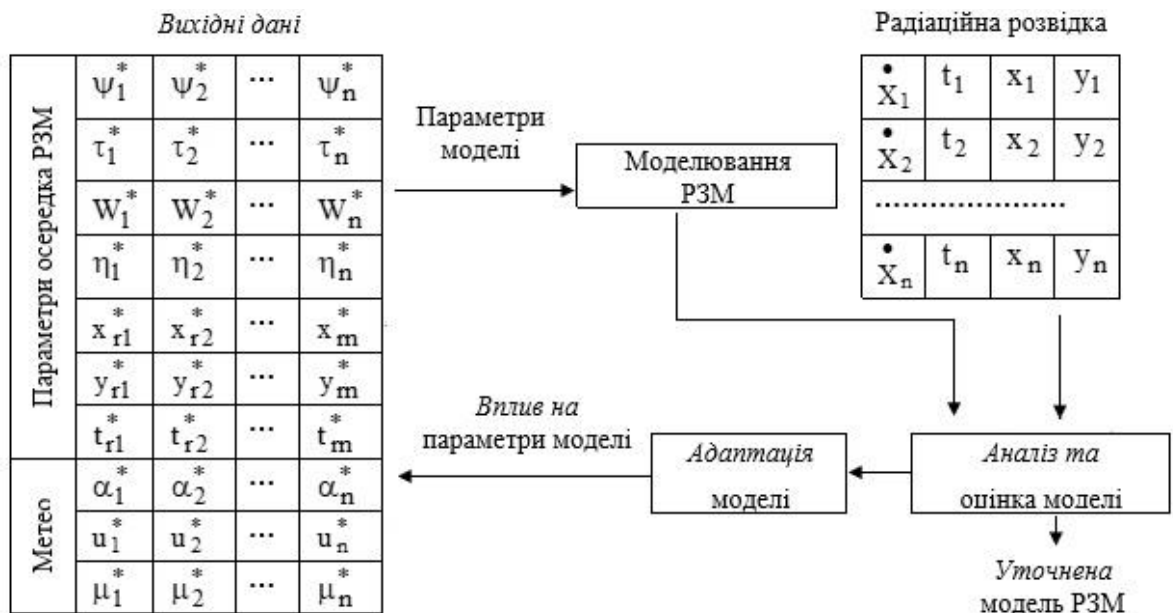


Рис. 2.2. Функціональна блок-схема послідовної параметричної адаптації моделі РЗМ даними радіаційної розвідки місцевості

При цьому знову отримані величини, можуть відрізнятися від фактичних значень, тому що одне й теж поле РЗМ може бути описано за допомогою різних

осередка радіоактивного забруднення, а як вектори $V_i^*, U_i^*(V_{si}^*, U_{si}^*)$ параметрів моделі.

Таке уявлення про вхідні дані дозволяє коригувати окремі параметри моделі та максимально наблизити її до фактичної радіаційної обстановки. Крім того, припускається введення в матрицю додаткових рядків (чи видалення наявних) для підвищення достовірності моделі.

Ще одна перевага такого підходу полягає в тому, що відпадає необхідність в передачі даних радіаційної розвідки з одного органу управління в інший, в результаті значно, в сотні разів, зменшується об'єм інформації про РЗМ.

Слід особливо підкреслити, що параметрична модель, призначена тільки для опису радіоактивного забруднення місцевості та не може використовуватися для виявлення фактичних характеристик осередків радіоактивного забруднення.

Адаптація моделі може проводитися послідовно, по ходу надходження даних радіаційної розвідки. Принципова можливість створення таких систем, послідовної параметричної адаптації сформульована і доведена. Необхідність подальшої розробки цієї ідеї обумовлена потребою уточнення прогнозу РЗМ на етапі збору даних радіаційної розвідки, коли їх щільність ще недостатня для виявлення фактичного забруднення, або коли ці дані згруповані в компактні множини, що теж може мати місце на початкових стадіях виявлення фактичної радіаційної обстановки.

Методика послідовної параметричної адаптації передбачає як налаштування на наявну початкову інформацію, так і уточнення моделі РЗМ по ходу надходження даних радіаційної розвідки.

Використання принципів теорії розпізнавання образів можливо у тому випадку, якщо реальна форма слідів РЗМ близька до модельної. У роботі було показано, що таке обмеження не є жорстким, і в перші години сліди у більшості випадків досить добре описуються моделями. Для ядерних вибухів така залежність може зберігатися роками.

Методика, що розробляється, призначена для забезпечення рішення розрахункових завдань при виявленні РЗМ і підтримка інтелектуальних систем виявлення і оцінки радіаційної обстановки.

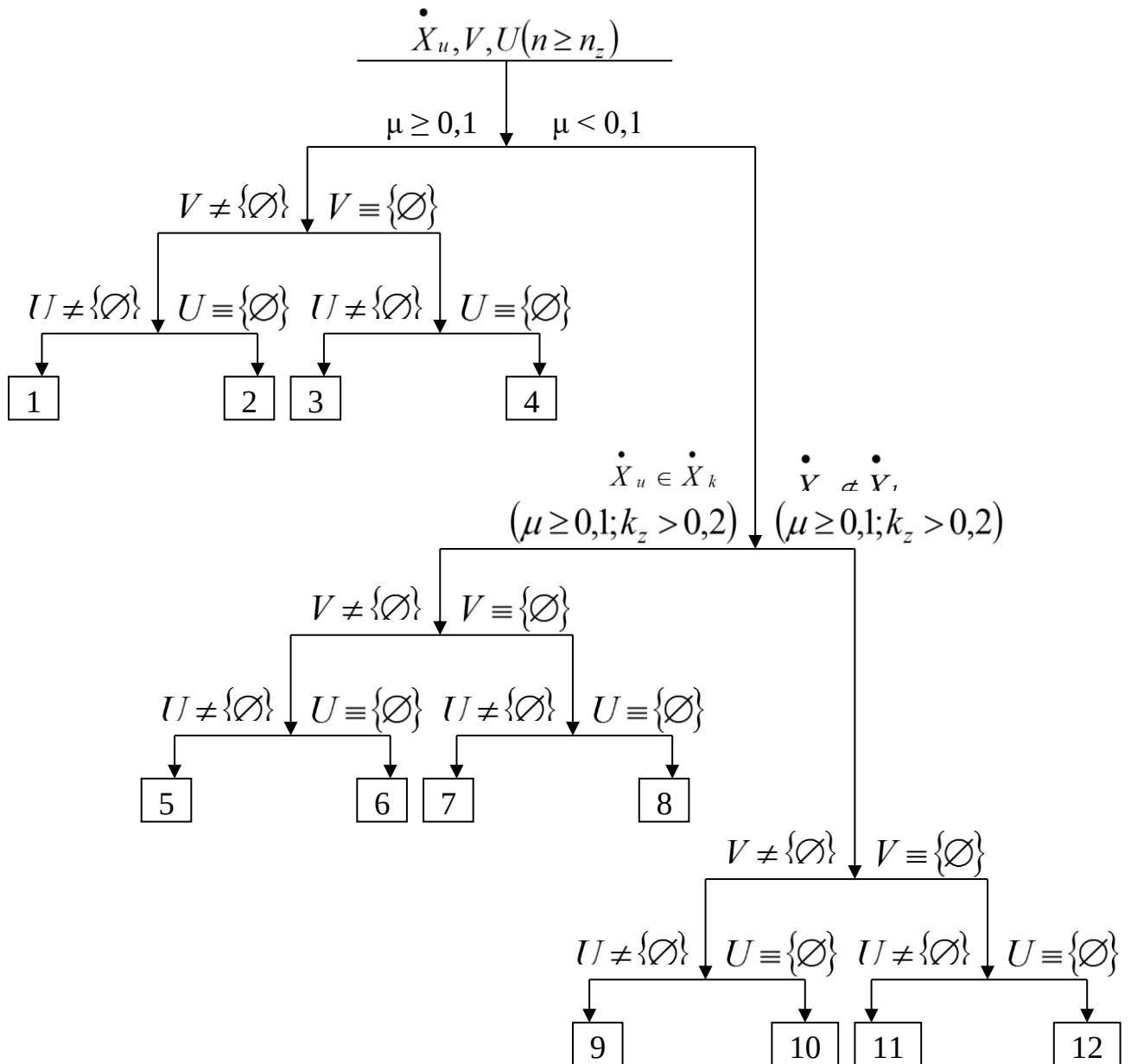
Методика послідовної параметричної адаптації є машинною, тобто може бути реалізована на IBM сумісних персональних ЕОМ.

2.2. Аналіз інформаційних ситуацій під час надходження даних радіаційної розвідки місцевості

Перш ніж перейти до розгляду методики послідовної параметричної адаптації, зупинимось на аналізі вихідних інформаційних ситуацій, які виникають під час надходження даних радіаційної розвідки на пункт управління в ході виявлення фактичної радіаційної обстановки.

Зрозуміло, що методи адаптації моделі будуть залежати від наявної вихідної інформації. Тому підходи до вирішення завдання не можуть бути однаковими, якщо на пункті управління (ПУ) є дані про параметри джерел радіоактивного забруднення або вони відсутні, радіаційна розвідка місцевості проведена у повному обсязі або дані тільки почали надходити. Схема таких ситуацій представлена на рис. 2.3.

В якості вихідних даних використовуються множини даних радіаційної розвідки ($\dot{X}_u$), джерел радіоактивного забруднення (V) та метеоумов (U). При цьому кількість даних радіаційної розвідки n не повинна бути меншою за задану мінімальну кількість n_z , яка визначається виходячи з площі району виявлення радіаційної обстановки та можливостей системи (підсистеми) виявлення та оцінки радіаційної обстановки.



$\dot{X}_u$ – множина даних радіаційної розвідки;

V – множина цих осередків радіоактивного забруднення;

U – множина цих метеоумов;

n – кількість даних радіаційної розвідки;

μ – щільність точок вимірювань ПДВ, км^{-2} ;

$\dot{X}_k$ – компактна множина даних радіаційної розвідки;

k_z – коефіцієнт, що характеризує розмах вибірки вимірювань.

Рис. 2.3. Аналіз початкових інформаційних ситуацій

Одним з найважливіших критеріїв при аналізі інформаційної ситуації є щільність точок вимірювань ПДВ (μ). Якщо вона не менше $0,1 \text{ км}^{-2}$, то це дозволяє використати метод лінійної оптимальної інтерполяції (МЛОІ) для виявлення РЗМ [8]. У разі, коли ця умова виконується, подальша класифікація ситуацій проводиться по наявності або відсутності інформації про осередки радіоактивного забруднення і метеоданих (ситуації 1-4).

Якщо середня щільність точок вимірювань менше $0,1 \text{ км}^{-2}$, то слід розглянути випадки, коли при цьому існують компактні множини $(\dot{X}_k)$, усередині яких $\mu \geq 0,1$ і при цьому виконується умова:

$$\exists x \quad \dot{X}(x) \rightarrow \left\{ \frac{|\dot{X}(x) - \max(\dot{X}_i(x) | i = \overline{1, n})|}{\max(\dot{X}_i(x) | i = \overline{1, n})} \geq k_z \right\}, \quad (2.11)$$

де $\dot{X}(x)$ – потужність дози випромінювання в точці виміру, рад/год;

k_z – відносна величина, що характеризує розмах вибірки вимірювань.

Коефіцієнт k_z змінюється в межах від 0 до 1 і не має бути менше 0,2.

При виконанні цих умов, слід окремо розглянути випадки, коли інформація про осередки радіоактивного забруднення і метеодані на момент формування слідів радіоактивного забруднення наявна або відсутня (ситуації 5-8).

Якщо ж щільність точок вимірювань нижче ніж одна точка на 10 км^2 і немає компактних вибірок, в яких виконувалися б умови описані вище, то можна окремо розглянути випадки, коли є інформація про осередки радіоактивного забруднення (ситуації 9-10), і коли такі дані відсутні (ситуації 11-12).

Цей класифікаційний підхід до інформаційних ситуацій буде використовуватися надалі при описі методики послідовної параметричної адаптації. Це зумовлено тим, що для різної повноти вихідних даних необхідно застосовувати різні підходи до вирішення завдання адаптації моделі.

2.3. Алгоритм послідовної параметричної адаптації при різних інформаційних ситуаціях

Оскільки вихідні дані у різних випадках будуть мати суттєві відмінності, виникає необхідність визначити траєкторії рішення завдання для різних груп інформаційних ситуацій.

Узагальнена блок-схема алгоритму послідовної параметричної адаптації зображена на рис. 2.4.

Після введення вихідних даних і аналізу інформаційної ситуації, якщо відсутні компактні вибірки, тобто дані розподілені відносно рівномірно, визначаються параметри РЗМ з використанням методу лінійної оптимальної інтерполяції

$$R=f(n,S); \quad (2.12)$$

$$h_s=\varphi(R), \quad (2.13)$$

де R – радіус локально однорідній області, км;

S – площа району виявлення радіаційної обстановки, км²;

h_s - крок сітки, км.

Після цього створюється вихідне цифрове зображення методом лінійної оптимальної інтерполяції. Даний метод добре відомий [7], тому в цьому розділі не розглядається.

Обробка даних радіаційної розвідки на цьому початковому етапі проводиться без врахування апріорної інформації. Це зумовлено наступними причинами:

по-перше, навіть маючи апріорні дані про джерела радіоактивного забруднення та метеоумови, ще неможливо без додаткових обчислень стверджувати, що РЗМ близько до модельного;

по-друге, при подальшій адаптації моделі РЗМ необхідно мати еталон для визначення якості параметризованої моделі;

по-третє, обробка інформації без врахування апріорних даних дозволяє значно підвищити швидкість обчислень.

Розглянемо ситуації 1-4. З високою щільністю точок розвідування можливо отримати досить детальне цифрове зображення поля РЗМ. На основі його аналізу можна висунути наступні три гіпотези:

1. Гіпотеза про уточнені значення компонент векторів матриць (2.7, 2.8).
2. Гіпотеза про параметри "втрачених" векторів V_{ϵ}^* . Тут, і надалі, під "втраченими" векторами мають на увазі вектори, які були включені в матриці (2.7, 2.8) під час адаптації моделі.
3. Гіпотеза "хибних" векторів V_x^* . Під "хибними" розуміють вектори, що були виключені з матриць (2.7, 2.8) під час адаптації.

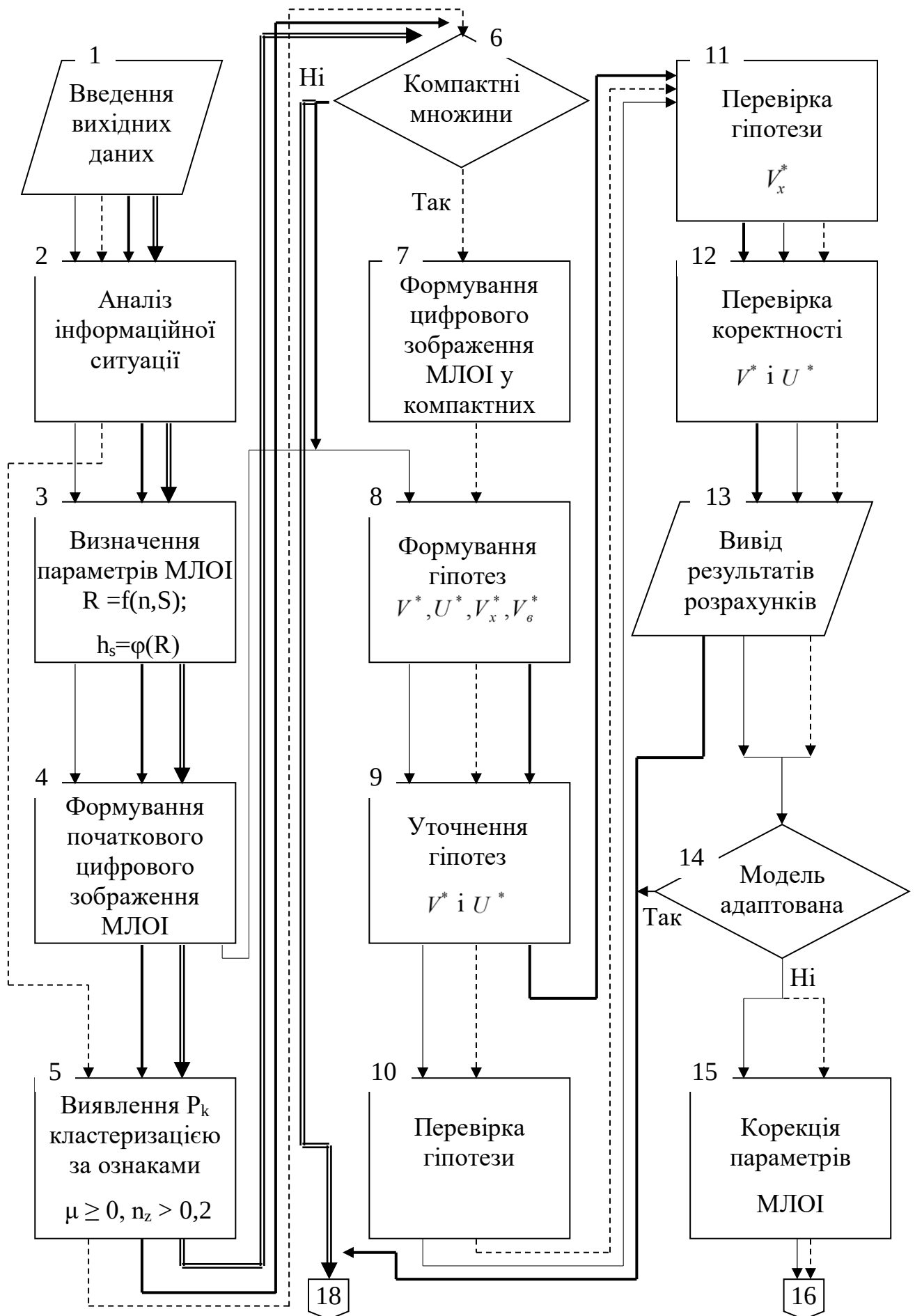
Механізм формування гіпотез буде розглянутий в пункті 2.4.1.

Далі, у блоках 9-11, здійснюється уточнення гіпотез V^* , U^* і перевірка V_{ϵ}^* і V_x^* . Після цього, у блоці 12 проводиться контроль адекватності параметризованої моделі. Порядок уточнення та перевірки гіпотез описаний у розділі 2.5. Результат роботи по створенню цієї моделі (блоки 8-12) повідомляється користувачеві (блок 13).

Якщо модель успішно адаптована за даними радіаційної розвідки, то результати моделювання за множинами векторів V^* і U^* відображаються на екрані дисплея, а рішення завдань щодо визначення доз випромінювання та радіаційних втрат здійснюється на основі цих множин.

Проте існують ситуації, коли параметризовану модель побудувати не вдається. Це відбувається на слідах із складною топологією, коли в результаті процесів перенесення, інженерного обладнання місцевості, дезактивації т.і., радіаційне поле різко відрізняється від модельного. У такому випадку проводиться спроба формування уточненого цифрового зображення методом лінійної оптимальної інтерполяції.

Для ситуацій з 5 по 8 проводиться розбиття даних радіаційного розвідування на компактні множини. При цьому цифрове зображення будується не для всієї множини вимірювань, а для кожної компактної множини.



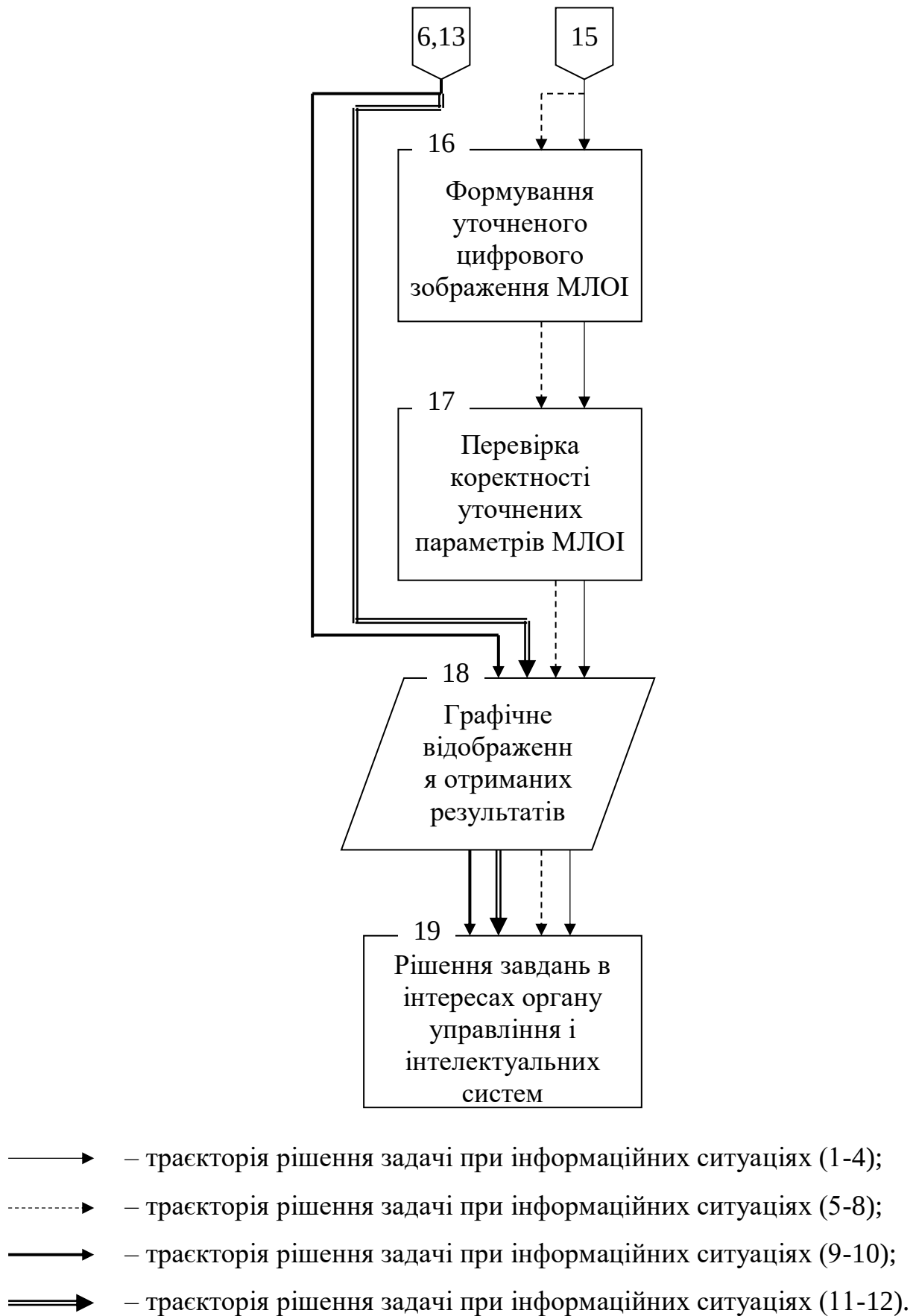


Рис. 2.4. Узагальнена блок-схема алгоритму послідовної параметричної адаптації

В інших відношеннях траєкторія залишається незмінною, але реалізація кожного конкретного блоку матиме свої особливості, які будуть розглянуті в наступних розділах.

Для ситуацій з 9 по 10 загальний шлях рішення співпадає із ситуаціями з 1 по 4, за винятком того, що не проводиться висунення та перевірка гіпотези "втрачених" векторів. Це викликано тим, що при малій щільності точок вимірювань ПДВ (менше 0,1 точки на км²) ідентифікація параметрів моделі стає дуже складною. Крім того, у реалізації кожного конкретного блоку є свої особливості, які будуть описані нижче.

Розглянемо ситуації 11-12. Це випадки найбільшої інформаційної невизначеності. Щільність точок радіаційного розвідування становить менше 0,1 точки вимірювань ПДВ на квадратний кілометр, вектор параметрів осередків радіоактивного забруднення відсутній. У такій ситуації висувати гіпотези вважається недоцільно у зв'язку з браком даних. Користувач отримує графічне зображення, побудоване на основі вихідного цифрового зображення, та повідомлення про низьку достовірність наданих результатів.

2.4. Уточнення вихідних даних параметризованої моделі радіоактивного забруднення місцевості

2.4.1. Уточнення вихідних даних параметризованої моделі, при достатній щільності вимірювань потужності дози випромінювання

У роботі доведено, що вибірка вимірювань ПДВ з щільністю не менше 0,1 км⁻² є досить інформативною і за своїми статистичними властивостями може бути використана для виявлення та моделювання радіаційного поля, утвореного в результаті аварії на радіаційно небезпечному об'єкті, принаймні в перші години після аварії. За прийнятою класифікацією такі вибірки відносяться до інформаційних ситуацій 1-4(рис.2.3.).

Для уточнення значень векторів V^* (рис. 2.5), необхідно знайти локальні максимуми ПДВ на вихідному цифровому зображенні поля:

$$\exists D(T) \subset P_s, f(x) \leq f(x_0), \forall x \in D(T), \quad (2.14)$$

де $D(T)$ – підмножина, що належить множині векторів цифрового зображення P_s ;

f - функція ПДВ, визначена в просторі вимірювань T .

На практиці, множину векторів таких максимумів можна сформувати, переглянувши кожну точку сітки цифрованого зображення. При цьому, якщо в i -й точці спостерігається локальний максимум, то x_{ri}^*, y_{ri}^* рівні координатам i -ї точки цифрованого зображення. У випадку, коли ми маємо справу з інформаційними ситуаціями 1 і 2, і в межах i -ї точки знаходиться вектор V_j , то $t_{ri}^* = t_j$, $\psi_i^* = \psi_j$, $\tau_i^* = \tau_j$, $w_i^* = w_j$, $\eta_i^* = \eta_j$. Для ситуацій 3 і 4 значення параметрів моделі визначаються користувачем довільно, виходячи з умов, які склалися в області виявлення радіаційної обстановки. На наступних етапах всі ці параметри будуть уточнюватися.

Слід відзначити, що точка локального максимуму не може вважатися точкою, яка знаходиться на краю цифрованого зображення. Це зумовлено двома причинами:

по-перше, джерело радіонуклідів може в цьому випадку перебувати поза межами розглянутої області, а врахування цього локального максимуму може призвести до серйозних похибок;

по-друге, метод лінійної оптимальної інтерполяції в певних ситуаціях може не зовсім коректно працювати на межі розглянутої області, оскільки використовує вимірювання ПДВ тільки з однієї напівплощини від розрахункової точки.

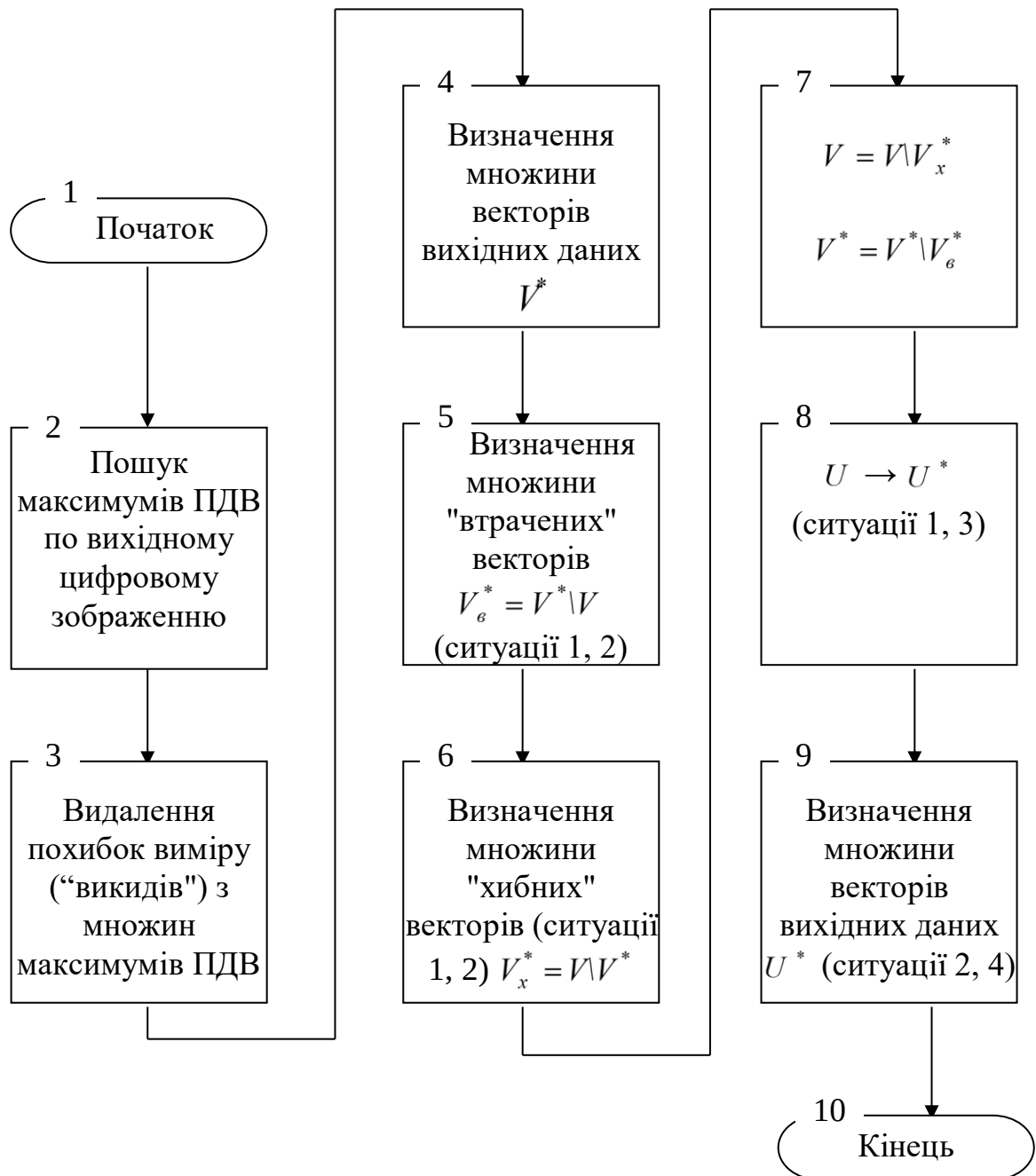


Рис. 2.5. Алгоритм уточнення вихідних даних параметризованої моделі, на основі вимірювань потужності дози випромінювання (інформаційні ситуації 1-4)

На наступному етапі (блок 3) робиться видалення похибок виміру, "викидів", з множин максимумів ПДВ цифрового зображення. Для цього скористаємося механізмом розрізнення гіпотез [33].

Нехай $x(g)$ – траєкторія випадкового процесу визначення потужності дози випромінювання, визначеного в просторі $g \in [0, G]$, і що належить області функцій $F_{[0, G]}$.

Висунемо дві гіпотези:

H_1 – в точці локального максимуму немає викиду;

H_2 – точка локального максимуму є викидом.

Тоді, кожній можливій траєкторії $x(\cdot)$ відповідає вірогідність $p(x(\cdot))$ (p – вимірний функціонал від траєкторії) прийняти гіпотезу H_1 , якщо спостерігається траєкторія $x(\cdot)$ і $1-p(x(\cdot))$ – вірогідність прийняти гіпотезу H_2 . Можна визначити певну величину Z , що характеризує випадковий процес в областях локального максимуму як:

$$Z = \frac{|\bar{x} - x_{\max}|}{S}, \quad (2.15)$$

де $\bar{x}$ - середнє значення ПДВ в областях точки максимуму, рад/год;

$x_{\max}$ - максимальне значення ПДВ, рад/год;

S - відхилення, рад/год

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (x_k - \bar{x})^2}{n-1}}. \quad (2.16)$$

У тому випадку, якщо прийняти рівень значущості гіпотези H_1 $\alpha=0,01$, то можна розрахувати величину Z_α , таку, що:

$$P(|Z| > Z_\alpha) = 1 - 2\Phi_0(Z_\alpha) = \alpha, \quad (2.17)$$

де Φ_0 - функція розподілу нормованого і центрованого нормального розподілу.

Для даного випадку $Z_\alpha=2,58$. Отже, якщо $Z \leq Z_\alpha$, то приймається гіпотеза H_1 , а інакше H_2 .

Таким чином, маючи множину векторів максимумів ПДВ, з якого видалені грубі похибки виміру, можна приступити до формування множини V^* , тобто розпізнати, які з максимумів відносяться до осередків забруднення. Це можливо

зробити, використовуючи статистичні методи (теорію ігор і функції правдоподібності)[34]. Складемо матрицю втрат:

$$L = \begin{matrix} & \begin{matrix} \xi_1 & \xi_2 \end{matrix} \\ \begin{matrix} \xi_1 \\ \xi_2 \end{matrix} & \begin{pmatrix} 0 & L_{12} \\ L_{21} & 0 \end{pmatrix} \end{matrix}, \quad (2.18)$$

де ξ_1, ξ_2 – гіпотези, що полягають в тому, що точка максимуму є вектором V_i і не є таким, відповідно;

ξ_1, ξ_2 – рішення, що стверджують, що в точці максимуму є вектор V_i^* і те що такого вектору немає;

L_{12} – втрати при виборі рішення ξ_2 , коли істинна гіпотеза ξ_1 ;

L_{21} – втрати при виборі рішення ξ_1 , коли істинна гіпотеза ξ_2 .

З матриці виходить, що вірним рішенням відповідають нульові втрати.

Відомо, що математичне очікування втрат, пов'язаних з розподілом до образу ζ до класу ξ_i , визначаються наступним виразом:

$$r_j(\zeta) = \sum_{i=1}^2 L_{ij} p(\zeta | \xi_i) p(\xi_i), \quad (2.19)$$

де $p(\zeta | \xi_i)$ – функція правдоподібності для класу ξ_i ;

$p(\xi_i)$ – апіорна вірогідність появи класу ξ_i .

Відношення правдоподібності можна вичислити як [53]

$$l_{12}(\zeta) = \frac{p(\zeta | \xi_1)}{p(\zeta | \xi_2)}. \quad (2.20)$$

Класифікатор, що мінімізує математичне очікування загальних втрат, називається байесовским. Для його визначення необхідно обчислити граничне значення. Воно може бути визначене за наступним співвідношенням:

$$\mathfrak{R}_{12} = \frac{p(\xi_2)}{p(\xi_1)} \cdot \frac{(L_{21} - L_{22})}{(L_{12} - L_{11})}. \quad (2.21)$$

Таким чином, для нашого випадку байесовське вирішальне правило можна сформулювати таким чином: максимум цифрового зображення ζ вважається вектором V_i^* , якщо виконується умова $l_{12}(\zeta) > \mathfrak{R}_{12}$;

максимум цифрового зображення ζ не вважається вектором V_i^* , якщо виконується умова $l_{12}(\zeta) < \mathfrak{R}_{12}$;

рішення вибирається довільним способом, якщо має місце рівність $l_{12}(\zeta) = \mathfrak{R}_{12}$.

Якщо шум характеризується нульовим середнім значенням і дисперсією σ^2 , то відношення правдоподібності може бути визначене в наступному вигляді:

$$l_{12}(\zeta) = \exp\left(\frac{1-2Z}{2\sigma^2}\right). \quad (2.20)$$

Для обчислення граничного значення $\mathfrak{R}_{12}$, з використанням формули (2.19), можуть бути застосовані наступні логічні міркування:

- втрати при виборі вірного рішення дорівнюють нулю;
- втрати при виборі рішення мають бути істотно (в 2-3 рази) більше, ніж іншому випадку про те, що в точці максимуму немає вектору параметрів моделі ξ_2 , тоді як вірною є зворотна гіпотеза ξ_1 (це пояснюється тим, що похибка, викликана появою зайвого вектору може бути зведена до мінімуму на етапі уточнення гіпотез шляхом зменшення компонентів цього вектору, тоді як відсутність такого вектору, за умови, що він реально існує, не піддається корекції і призведе до значного погіршення якості моделі).

Апріорна вірогідність появи вектору вихідних даних (вірогідність зустріти цей вектор) може бути розрахована за формулою:

$$p(\xi_1) = \frac{N_{oc}}{N_{e/c}}, \quad (2.21)$$

де N_{oc} – вірогідна кількість осередків РЗМ, що брали участь у формуванні даного поля (можлива кількість викидів з аварійного реактора, або змін метеоумов);

$N_{в/с}$ - кількість вузлів сітки цифрового зображення;

Апріорна вірогідність відсутності вектору вихідних даних в точці максимуму може бути вчислена по формулі:

$$p(\xi_2)=1-p(\xi_1). \quad (2.22)$$

На наступному етапі (блок 5) формується гіпотеза "втрачених" векторів (V_e^*). При інформаційних ситуаціях 1 і 2 ця множина визначається як різницю множини векторів параметрів моделі і множини векторів параметрів ядерних вибухів

$$V_e^* = V^* \setminus V. \quad (2.23)$$

При цьому вектори множини V^* і V вважаються тотожними, якщо значення x_{ri}^* і x_{ri} , а також y_{ri}^* і y_{ri} відрізняються на величину, не більше подвійного кроку сітки цифрового зображення (2h).

Для інформаційних ситуацій 3 і 4 множина V_e^* визначається як порожнє.

Аналогічним чином, у блоці 6, формується гіпотеза "хибних" векторів

$$V_x^* = V \setminus V^*. \quad (2.24)$$

Уточнення параметрів осередків закінчується видаленням з множини векторів параметрів осередків радіоактивного забруднення множини "хибних" векторів і видаленням з множини параметрів моделі - множини "втрачених" векторів:

$$V = V \setminus V_x^*, \quad (2.25)$$

$$V^* = V^* \setminus V_e^*. \quad (2.26)$$

Таким чином, сформована чотири множини:

- множина осередків РЗМ, з якого видалені дані, що не знайшли підтвердження за результатами радіаційної розвідки;
- множина "хибних" векторів (вихідні дані для прогнозування не підтверджені даними розвідки);
- множина вихідних даних моделі РЗМ (виявлених за результатами обробки даних радіаційної розвідки і підтверджених вихідними даними для моделювання);
- "втрачених" векторів (виявлені за результатами обробки даних розвідки, але не підтверджених апріорною інформацією про характер аварії).

На останньому етапі робиться формування гіпотези U^* . При цьому для ситуацій 1 і 3 множина векторів U^* утворюється з множини векторів метеоумов U шляхом привласнення кожному елементу матриці u_i^*, α_i^* (2.7) відповідних значень множини векторів U (u_i^*, α_i^*):

$$U \rightarrow U^*. \quad (2.27)$$

Для інформаційних ситуацій 2 і 4, коли множина U відсутня, формування гіпотези U^* ускладнюється. Необхідно визначити за даними радіаційної розвідки напрям поширення радіоактивної хмари (напрямок по якому ПДВ максимальні). Це завдання аналогічне завданню аналізу сцен при розпізнаванні зорових образів.

Основна мета завдання полягає в розпізнаванні окремих об'єктів, встановленні їх взаємних стосунків і змістовної інтерпретації сцени в цілому [7].

Для визначенні значення α_i^* , розглянемо області точки максимуму, відповідною i -у рядку матриці (2.7). Виділимо в цій області прямокутну область так, щоб центр меншої сторони прямокутника знаходився в районі точки максимуму (рис. 2.6).

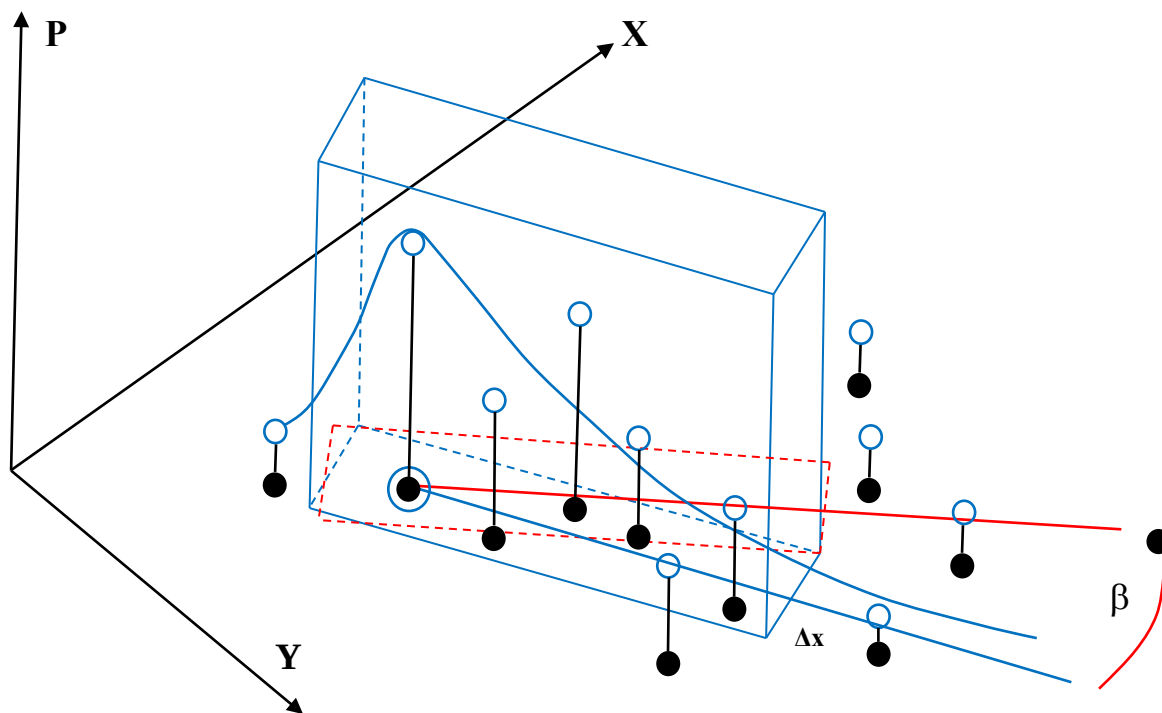


Рис. 2.6. Схема роботи методу аналізу сцен для визначення осі сліду радіоактивного забруднення місцевості

Всередину виділеної області потрапило n точок вимірювань ПДВ. Тепер ми можемо розрахувати середнє значення вимірювань потужності дози випромінювання вибірки:

$$\overline{P} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n} \quad (2.28)$$

Після чого, повернувши прямокутну ділянку на кут β , як показано на рис. 2.6, виділимо наступну ділянку і вчислимо $\overline{P}$ для неї. Якщо середнє значення ПДВ збільшилося, то продовжуємо повертати прямокутник в цьому ж напрямі, якщо ж зменшилася – проглядаються області максимуму в протилежному напрямі. Таким чином, визначається положення прямокутника, при якому середнє значення ПДВ вибірки буде максимальним. Набуваємо значення параметра α_i^* рівним величині кута між віссю X і більшою стороною прямокутника.

Слід особливо обумовити ситуацію, коли під осередком радіоактивного забруднення розуміється аварійний ядерний реактор, що періодично викидає в атмосферу радіонукліди. В цьому випадку сканування необхідно проводити по усьому колу точки максимуму, оскільки в цій ситуації від одного осередка можливе формування двох і більше радіоактивних слідів.

Кут повороту β обирається так, щоб один з кутів прямокутника, що знову утворився, співпадав з одним з кутів попереднього (рис.2.6), чим забезпечується повний перегляд області точки максимуму.

Важливим є питання про вибір апертури сканування Δx і розмірів усієї області, що проглядається. Залежність між цими величинами і роздільною здатністю самого методу очевидна. Очевидно, значення Δx може дорівнювати кроку сітки. Це повинно забезпечити потрапляння точок вимірювань всередину прямокутника при будь-якому його положенні. Довжині області перегляду у такому разі слід бути більше ширини. Проте надмірне її збільшення може привести до ситуації, коли в дану область сканування потрапляє інший максимум ПДВ. Це, у свою чергу, послужить причиною отримання неправильних результатів. Виходячи з того, що два максимуми не можуть знаходитися в сусідніх вузлах сітки, довжина області сканування може скласти 2-3 кроки сітки. Таким чином, роздільна здатність даного методу, його кутова апертура, складе 19-28 градусів. Безумовно, така точність не може вважатися задовільною. Проте на етапі формування гіпотез застосування розглянутого способу виправдане, оскільки в подальшому значення компонент векторів вихідних даних параметризованої моделі, уточнюватимуться іншими методами (розділ 2.5).

Параметр u_i^* для інформаційних ситуацій 2, 4 приймається рівним середньомісячній швидкості вітру для цієї місцевості.

Сформовані таким чином гіпотези згодом підлягають корекції на етапі уточнення.

2.4.2. Уточнення вихідних даних параметризованої моделі, за наявності компактної множини вимірювань потужності дози випромінювання

У попередньому пункті досить детально був описаний механізм формування гіпотез для інформаційних ситуацій 1-4. Зараз основна увага буде приділена відмінностям, характерним для ситуацій 5-8.

На першому етапі у блоках 1-5 (рис. 2.7) здійснюється виділення компактної множини вимірювань потужності дози випромінювання і виявлення локальних максимумів усередині нього.

У тому випадку, якщо це вдається зробити, видаляються грубі похибки виміру ("викиди"), уточнюються вихідні дані моделі V^* , що параметризується, U^* , визначаються "втрачені" і "хибні" осередки (п. 2.4.1).

Якщо вихідні дані уточнити не вдається, тобто відсутні максимуми потужності дози випромінювання усередині компактної множини, відбувається перехід з блоку 5 на блок 11 і методом аналізу сцен визначається напрямок найменшої зміни градієнтів поля ПДВ (осі сліду).

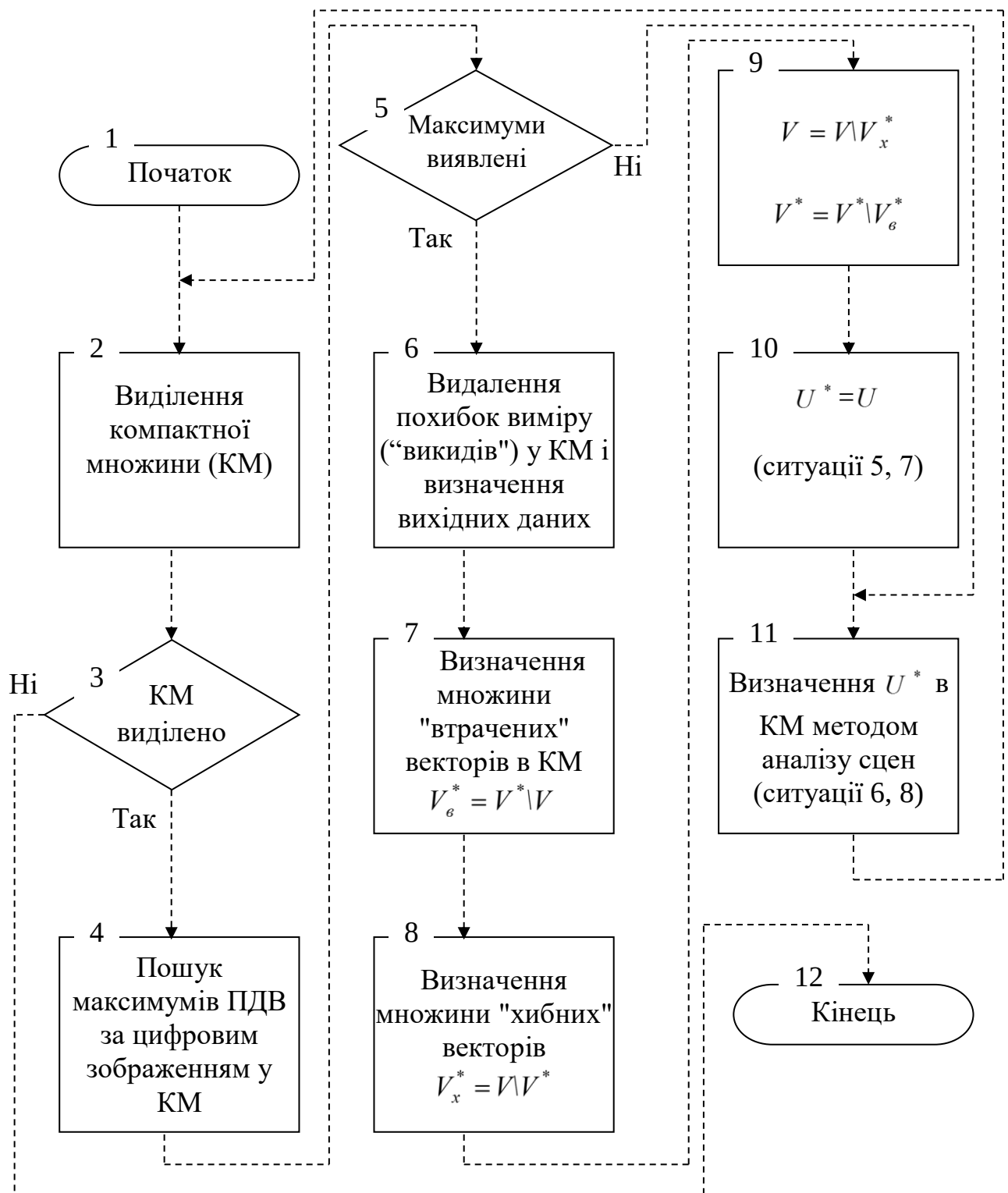


Рис. 2.7. Алгоритм уточнення вихідних даних параметризованої моделі, на основі вимірювань потужності дози випромінювання (інформаційні ситуації 5-8)

Після цього виділяється інша компактна множина і описана процедура повторюється. Робота алгоритму завершується після обробки даних останньої компактної множини.

2.4.3. Уточнення вихідних даних параметризованої моделі, на малих вибірках вимірювань потужності дози випромінювання

Інформаційні ситуації 9 і 10 характеризуються малою щільністю вибірок точок вимірювань ПДВ. Такі випадки найбільш типові у момент початку виявлення радіаційної обстановки. У цей період, коли інформація про РЗМ починає поступати, але її ще недостатньо для повного виявлення за даними розвідки, важливо оцінити чи є прогноз достовірним, чи можна по ньому приймати рішення на подальші дії на ліквідацію наслідків аварій, чи можливе його уточнення або потрібне повне виявлення обстановки.

Алгоритм рішення цієї задачі представлений на рис. 2.8.

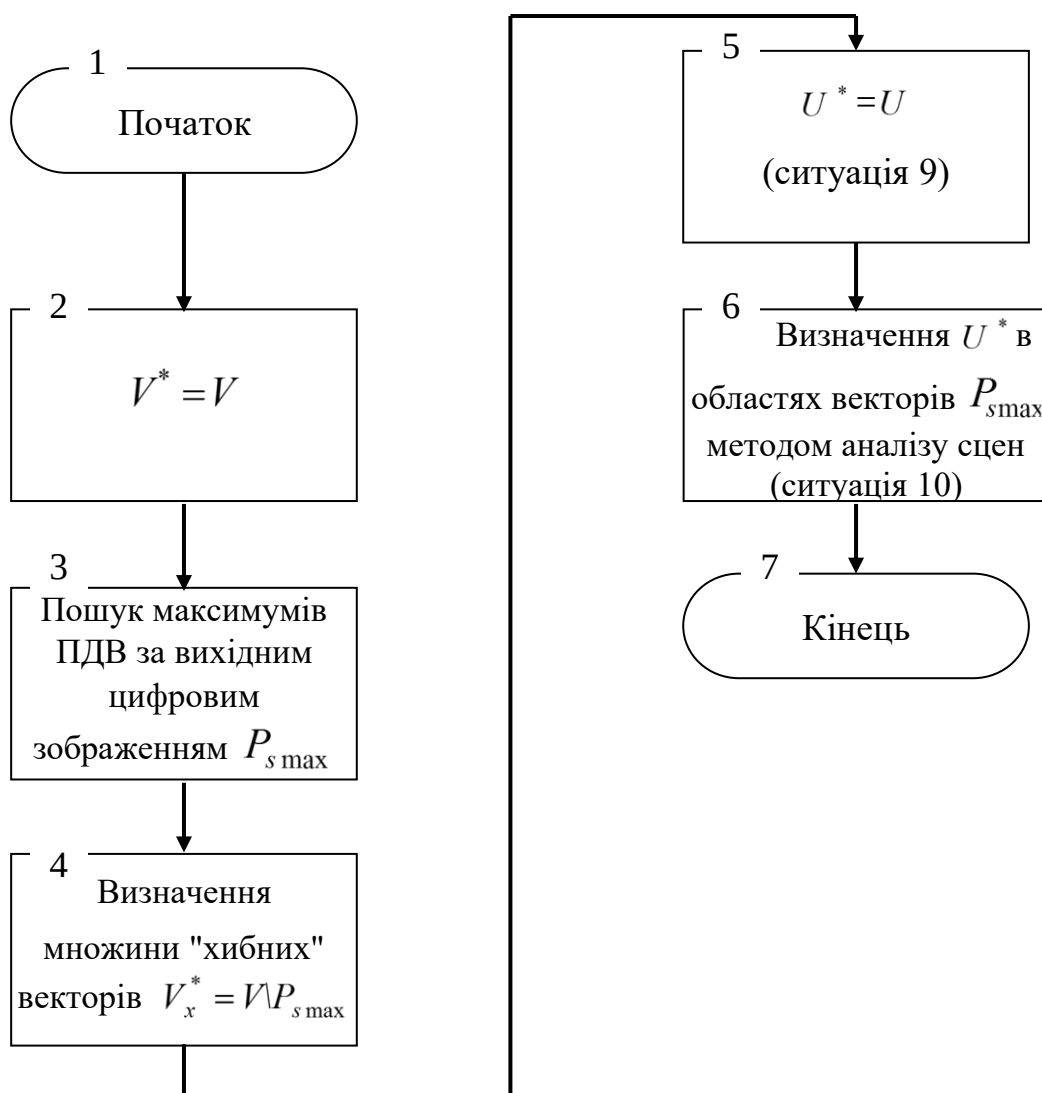


Рис. 2.8. Уточнення вихідних даних параметризованої моделі, на основі результатів радіаційної розвідки (інформаційні ситуації 9-10)

По цифровому зображенню поля ПДВ, сформованому методом лінійної оптимальної інтерполяції, визначається множина максимальних значень $P_{s \max}$ (блок 3).

На наступному етапі формується гіпотеза про множину "хибних" осередків РЗМ:

$$V_x^* = V \setminus P_{s \max} . \quad (2.29)$$

При цьому два вектори (V_i) і $(P_{s \max})$ вважаються тотожними, якщо різниця між відповідними значеннями x_i і x_j , а також y_i і y_j не перевищує $2h$ (h - крок сітки).

Множина осередків РЗМ U^* для інформаційної ситуації 9 приймається тотожною U , а при ситуації 10 – визначається методом аналізу сцен в областях точок максимумів (п.2.4.1).

На цьому етап формування вихідних даних закінчується.

2.5. Результати, що отримуються при обробці даних радіаційної розвідки місцевості

У автоматизованих системах контролю радіаційної обстановки первинне значення має взаємодію людини і машини в процесі контролю і управління. Однією з властивостей автоматизованих систем є необхідність автоматичного відображення інформації.

Як відзначалося раніше, пропонована методика є машинною, тобто призначена для роботи на ЕОМ. Отже, результати обчислень повинні оперативно відображатися на дисплеї і електронній карті.

Робоча карта є однією з основних, а іноді і єдиний документ, за допомогою якого здійснюється управління. Головна її перевага перед іншими видами документів – наочність. Це цілком відноситься і до електронної карти.

Таким чином, результати обробки даних радіаційної розвідки представляються в наступних видах:

- графічне відображення зон РЗМ на електронних картах;
- інформація про можливі похибки прогнозування;
- модель поля ПДВ.

Висновок графічної інформації про зони РЗМ виводиться на дисплей. У зв'язку з цим висуваються певні вимоги до технічних засобів відображення інформації. Аналіз цих вимог [32] показує, що для реалізації методики потрібно відеоадаптер класу SVGA (super video graphics array).

Зони РЗМ можуть відображатися в двох режимах.

У першому – ізолінії доз визначаються за допомогою параметризованої моделі. Зони є еліпсами і на вигляд зображення нагадує прогноз. Проте в даному випадку, незважаючи на зовнішню схожість, на електронній карті відобразиться фактичне забруднення місцевості.

У другому – для розрахунку ізодоз використовується цифрове зображення. Це пов'язано з неможливістю отримати параметризовану модель.

Інформація про можливі похибки прогнозування, якщо така отримана в ході обробки, може представлятися в текстовому вигляді на дисплей, в графічному вигляді на електронних картах, а також надаватися в АСКРО (АСУ) як вхідне донесення.

Для вирішення завдань оцінювання радіаційної обстановки, забезпечення роботи інтелектуальних систем підтримки прийняття рішення методика послідовної параметричної адаптації представляє модель радіоактивного забруднення місцевості за даними радіаційної розвідки. У одному випадку це буде параметризована модель, характеризується матрицями (2.7, 2.8), в іншому (якщо спроба побудови параметризованої моделі невдала) – цифрове зображення поля ПДВ .

Висновки до розділу 2

1. Запропонована методика послідовної параметричної адаптації моделі радіоактивного забруднення місцевості даними радіаційної розвідки. Вона призначена для виявлення радіоактивних зон забруднення в умовах різної повноти початкових даних.

Параметризована модель, яка є основою цієї методики, чутлива до топології радіаційного поля. У зв'язку з цим використання апріорної інформації про радіоактивне забруднення місцевості дозволяє підвищити достовірність виявлення радіоактивних зон забруднення.

2. Розроблена методика уточнення меж локально-однорідної області поля потужності дози випромінювання, що дозволяє підвищити достовірність отриманих результатів для випадків, коли радіоактивне забруднення місцевості значно відрізняється від модельованого.

3. Запропонована у роботі методика екстраполяції потужності дози випромінювання в часі для систем автоматизованого контролю радіаційної обстановки дозволяє прогнозувати зміну характеристик поля радіоактивного забруднення місцевості на основі аналізу даних, отриманих від системи радіаційного спостереження.

Методика призначена для використання в випадках, коли визначення складу (віку) продуктів ядерної реакції ускладнене. Також передбачається можливість оперативної корекції прогнозу з отриманням нової інформації.

РОЗДІЛ 3.

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ ВИНИКНЕННІ РАДІАЦІЙНОГО ЗАБРУДНЕННЯ МІСЦЕВОСТІ

Розглянуті в розділі призначення і цілі розробки спеціального програмного забезпечення, можемо стверджувати, що воно призначене для виявлення фактичного радіоактивного забруднення місцевості за даними радіаційної розвідки і моніторингу. Використовуються вихідні дані про метеоінформацію, зведення про осередки радіоактивного забруднення і деяку іншу інформацію. Моделювання радіоактивного забруднення місцевості проводиться з використанням математичного апарату. В якості критеріїв оцінки адекватності отриманої моделі використано максимальну відносну похибку визначення потужності дози випромінювання, середню відносну похибку і дисперсію відносної похибки. Корекція параметрів цифрового зображення проводиться за рахунок зміни розмірів, форми і орієнтації локально-однорідної області залежно від напрямку і величини градієнта в однорідній ізотропній ділянці поля потужності дози випромінювання.

3.1. Призначення і цілі розробки спеціального програмного забезпечення

Розроблене спеціальне програмне забезпечення (СПЗ) призначене для виявлення фактичного радіоактивного забруднення місцевості за даними радіаційної розвідки і моніторингу. При реалізації спеціального програмного забезпечення була використана методика послідовної параметричної адаптації моделі РЗМ даними радіаційної розвідки, описана в другому розділі роботи.

Комплекс подібних завдань повинен підтримувати електронну робочу карту. У зв'язку з цим, при розробці СПЗ слід враховувати необхідність виведення інформації в графічному вигляді растрового типу.

В ході роботи спеціального програмного забезпечення використовуються вихідні дані про метеоінформацію, зведення про осередки радіоактивного забруднення і деяку іншу інформацію.

Спеціальне програмне забезпечення створювалося з цілями:

- перевірки працездатності методики послідовної параметричної адаптації моделі радіоактивного забруднення місцевості даними радіаційної розвідки;
- визначення обмежень на роботу пропонованої методики;
- аналізу роботи створеного програмного забезпечення в процесі дослідної експлуатації у військах, цивільному захисті і підрозділах, які залучаються для ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій.

При розробці спеціального програмного забезпечення передбачалося рішення декількох завдань, взаємозв'язок між якими показаний на рис. 3.1.

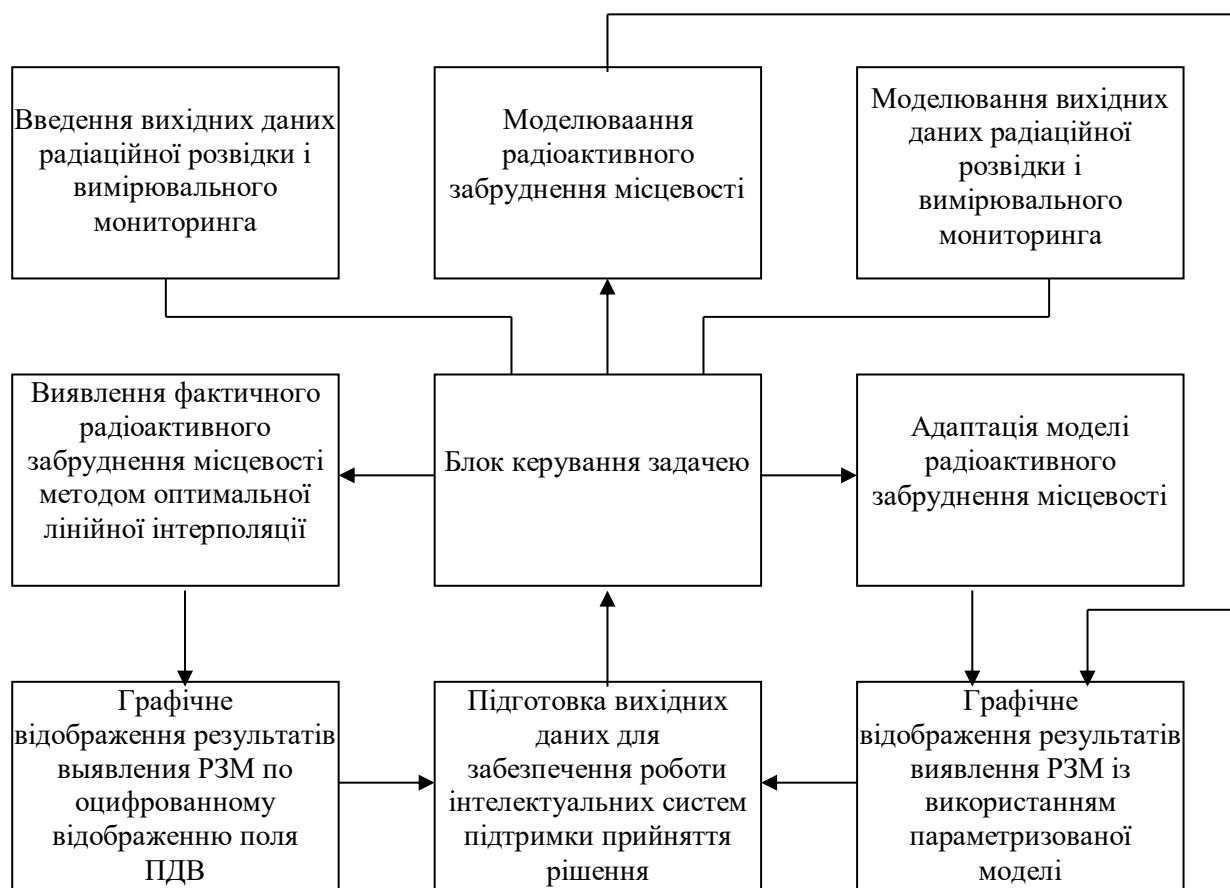


Рис. 3.1. Функціональна схема СПЗ "Виявлення радіоактивного забруднення місцевості за даними радіаційної розвідки"

Моделювання радіоактивного забруднення місцевості проводиться з використанням математичного апарату, описаного в другому розділі роботи.

При розробці СПЗ виникла необхідність моделювання даних радіаційної розвідки і моніторингу при різних ситуаціях. Це обумовлено тим, що дані вимірювань, отримані в результаті випробувань ядерної зброї і аварій радіаційно-небезпечних об'єктів, які наявні в нашому розпорядженні, розрізнені і уривчасті. Крім того, немає даних радіаційної розвідки при масованому застосуванні ядерної зброї, оскільки таких випробувань не проводилося.

У СПЗ адаптація моделі радіоактивного забруднення місцевості здійснюється відповідно до алгоритму, описаного в другому розділі. Якщо вона проведена успішно, то модель РЗМ, що параметризується, використовується для забезпечення роботи інтелектуальних систем підтримки прийняття рішення і відображення виявленого зараження.

У тому випадку, якщо поле РЗМ істотно відрізняється від модельного і адаптація моделі не привела до позитивних результатів, здійснюється виявлення фактичного забруднення за даними радіаційної розвідки методом лінійної оптимальної інтерполяції. При цьому для забезпечення роботи ІСПУР формується цифрове зображення, на основі якого функціонує процедурна база знань. Воно ж служить основою для відображення РЗМ на електронній карті.

Таким чином, розроблений прототип завдання може використовуватися в наукових цілях. У подальшому він описаний і проаналізований в різних інформаційних ситуаціях.

3.2. Критерії оцінки адекватності параметризованої моделі ліквідації наслідків аварії

Однією з основних умов ефективного функціонування АСКРО і СУВ є забезпечення достовірності при обробці даних, на основі якої приймаються рішення, по ліквідації наслідків аварій.

Під достовірністю обробки даних в СУВ розуміють деяку функцію вірогідності похибки, тобто події, що полягає в тому, що реальні дані в системі не співпадають (в межах заданої похибки) з деяким їх істинним значенням [7].

$$\sigma_{\max} = \max\{\sigma_i\}; \quad (3.1.)$$

$$\bar{\sigma} = \frac{\sum_{i=1}^n \sigma_i}{n}; \quad (3.2)$$

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n (\sigma_i - \bar{\sigma})^2}{n-1}, \quad (3.3)$$

$$\text{де } \sigma_i = \frac{|P_i - P_{ri}|}{P_i};$$

P_i – потужність дози випромінювання виміряна в i -й точці, рад/год;

P_{ri} – потужність дози випромінювання розрахована в тій же точці за допомогою параметризованої моделі, рад/год;

n - кількість точок вимірювань потужності дози випромінювання.

Коректність отриманої моделі оцінюватимемо по сукупності цих трьох критеріїв $\sigma_{\max}$, $\bar{\sigma}$ і D (рис. 3.2.).

Очевидно, що недоцільно розглядати модель, якщо:

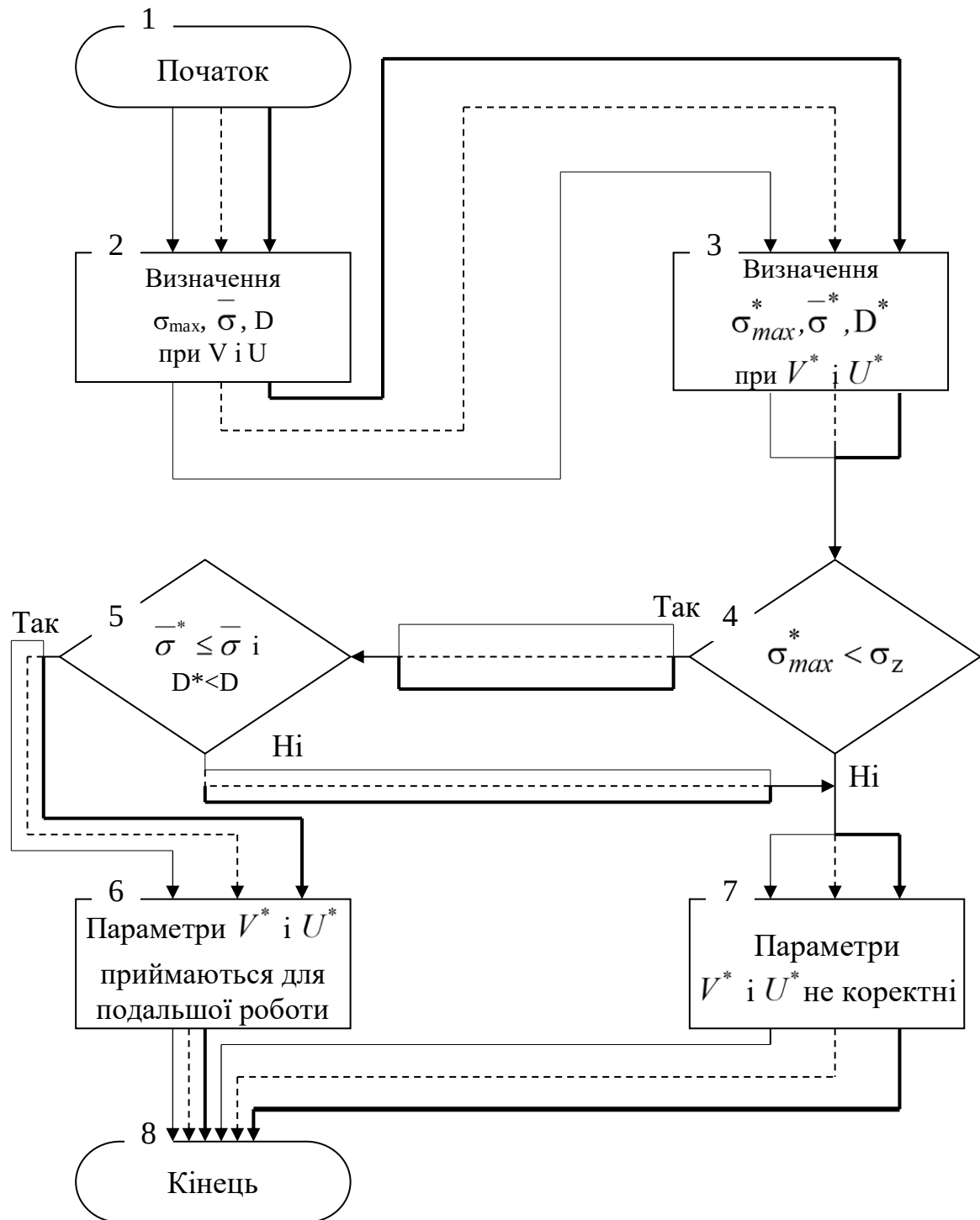
$$\sigma_{\max} \geq \sigma_z,$$

є σ_z – задана гранично допустима похибка визначення ПДВ, яка залежить від похибок дозиметричних приладів і точності визначення координат точок вимірювань.

Тому, умовимося брати до розгляду тільки ті моделі, у яких $\sigma_{\max}^* < \sigma_z$.

Виконавши обмеження по максимальній похибці, перейдемо до розгляду інших критеріїв. Середня відносна похибка визначення потужності дози буде основним критерієм. Дійсно, при $\bar{\sigma} \rightarrow 0$ навіть, якщо значення дисперсії велике,

якість моделі буде добра, і навпаки, якщо відносна похибка велика, то і нульова дисперсія не поліпшить якість моделі.



- > — траєкторія рішення задачі при інформаційних ситуаціях (1-4);
- - -> — траєкторія рішення задачі при інформаційних ситуаціях (5-8);
- > — траєкторія рішення задачі при інформаційних ситуаціях (9-10);

Рис. 3.2. Перевірка адекватності V^* і U^*

Проте ігнорувати дисперсію повністю не можна. При рівних значеннях середньої відносної похибки визначення потужності дози випромінювання модель буде кращою, чим менше значення дисперсії.

Отже, критерій $\bar{\sigma}$ приймає значення, що дорівнює нулю при повній узгодженості моделі з даними радіаційної розвідки.

Дослідження показали, що знайдені значення початкових даних параметризованої моделі повинні бути скориговані. Ця необхідність викликана тим, що використані методи адаптації мають певну похибку. Так, при визначенні координат джерела радіоактивного забруднення місцевості помилка залежить від величини кроку сітки цифрового зображення поля ПДВ, який у свою чергу є функцією щільності точок розвідки, а точність визначення напрямку осі сліду не може бути вищою, ніж кутова апертура сканування методу аналізу сцен.

Для корекції початкових даних параметризованої моделі ми використовували метод координатного спуску, який дозволяє мінімізувати обрані критерії. Параметризована модель вважається коректною, якщо максимальна відносна похибка визначення ПДВ менше заданого значення, а середня – менше, ніж для початкової моделі або при рівності їм – менше дисперсія.

З дотриманням цих умов подальша робота з розрахунку доз випромінювання, радіаційних втрат т. і. буде проводитися на основі параметризованої моделі. Однак не завжди можливо досягти правильності моделі. Причиною цього може бути складна топологія радіаційного поля, обумовлена віком продуктів ядерної реакції, порушеннями в атмосфері у момент формування сліду, процесами переносу радіонуклідів, дезактивацією місцевості та іншими факторами. У цьому випадку, коли не вдалося адаптувати модель за даними радіаційного розвідування, всі подальші обчислення та розрахунки, пов'язані з оцінкою радіоактивного забруднення місцевості, будуть здійснюватися на основі цифрового зображення.

3.3. Інформаційні технології для уточнення меж локально-однорідної області поля потужності дози випромінювання

3.3.1. Суть методу оптимальної лінійної інтерполяції

Питання корекції меж локально-однорідної області при використанні методу оптимальної лінійної інтерполяції розглядалися в [36,37]. У цій роботі була отримана апроксимація автокореляційної функції:

$$R_u = D_k e^{-ar^2} \left(1 - \frac{r}{r_0} \right), \quad (3.4.)$$

де D_k – квадрат відхилень відновлених значень вибірки вимірювань від заданих;

a – корегуючий параметр;

r – відстань від центру інтерполяції до точки виміру ПДВ;

r_0 – відстань до межі локально-однорідної області.

При виборі форми ЛОО пропонувалося використати апіорну інформацію про напрямок середнього вітру. Такий підхід є оптимальним для випадку, коли фактичне РЗМ близько до модельного. Проте, якщо не вдалося побудувати параметризовану модель, логічно припустити, що уточнення меж ЛОО по напрямку вітру у момент формування сліду не поліпшить статистичних властивостей вибірок.

Розглядатимемо цифрове зображення як однорідне, ізотропне поле, що має ергодичні властивості. Тоді виникає завдання визначення приватних реалізацій, незалежних між собою.

Для виділення по цифровому зображенню областей випадкового процесу, що мають стаціонарність, керуватимемося двома правилами:

- похідна по напрямку не повинна змінювати свій знак у будь-якому перерізі області поля;

- характер зміни градієнта в локально-однорідній області поля ПДВ має бути плавним.

Це припускає що, зміна градієнта усередині ЛОО не повинна перевищувати:

по напрямку – 90 градусів;

за величиною – 2 рази.

Для корекції параметрів цифрового зображення апроксимуємо однорідну ізотропну ділянку поля ПДВ площиною. Скористаємося для цього методом найменших квадратів. Нехай:

$$P = F(x, y, A, B, C) \quad (3.5)$$

де P – потужність дози випромінювання, рад/год;

x, y – координати X і Y ;

A, B, C – коефіцієнти.

$$S = \sum_{i=1}^n [P_i - F(x_i, y_i, A, B, C)]^2, \quad (3.6)$$

тут

$$F(x, y, A, B, C) = Ax + By + C. \quad (3.7)$$

Рівняння (2.35) запишеться у вигляді

$$S = \sum_{i=1}^n (P_i - Ax_i - By_i - C)^2. \quad (3.8)$$

У рівнянні (2.37) потрібно знайти такі коефіцієнти A, B і C , щоб сума квадратів відхилень зверталася в мінімум. Для цього розглянемо систему рівнянь в приватних похідних

$$\begin{cases} \frac{\partial S}{\partial A} = 2 \sum_{i=1}^n (P_i - Ax_i - By_i - C)(-x_i) = 0; \\ \frac{\partial S}{\partial B} = 2 \sum_{i=1}^n (P_i - Ax_i - By_i - C)(-y_i) = 0; \\ \frac{\partial S}{\partial C} = 2 \sum_{i=1}^n (P_i - Ax_i - By_i - C)(-1) = 0. \end{cases} \quad (3.9)$$

Вирішивши систему рівнянь (2.38), отримаємо

$$\begin{aligned} A = & \frac{\sum_{i=1}^n x_i P_i \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2 - n \sum_{i=1}^n x_i P_i \sum_{i=1}^n y_i^2 + n \sum_{i=1}^n P_i y_i \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n P_i \sum_{i=1}^n y_i \sum_{i=1}^n x_i y_i +}{\sum_{i=1}^n x_i^2 \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2 - n \sum_{i=1}^n x_i^2 \sum_{i=1}^n y_i^2 + n \left(\sum_{i=1}^n x_i y_i \right)^2 - 2 \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i \sum_{i=1}^n x_i y_i +} \\ & + \frac{\sum_{i=1}^n P_i \sum_{i=1}^n y_i^2 \sum_{i=1}^n x_i - \sum_{i=1}^n y_i \sum_{i=1}^n P_i y_i \sum_{i=1}^n x_i}{\sum_{i=1}^n y_i^2 \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2}; \end{aligned} \quad (3.10)$$

$$B = \frac{An \sum_{i=1}^n x_i y_i + \sum_{i=1}^n P_i \sum_{i=1}^n y_i - A \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i - n \sum_{i=1}^n P_i y_i}{\left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2 - n \sum_{i=1}^n y_i^2}; \quad (3.11)$$

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n P_i - A \sum_{i=1}^n x_i - B \sum_{i=1}^n y_i}{n}. \quad (3.12)$$

Підставивши вирази (3.11, 3.12,) у рівняння (3.13) отримуємо рівняння площини, яка апроксимує поверхню радіаційного поля на однорідній, ізотропній ділянці:

$$P = Ax + By + C. \quad (3.13)$$

Тепер ми можемо перейти до уточнення меж ЛОО.

Градiєнт на площині є величиною постійною $P = \text{const.}$ У роботі було показано, що кореляційні зв'язки між перерізами випадкового процесу зберігаються уздовж напрямку сліду на значно більшій відстані чим в поперечному, тобто форма ЛОО залежить від градiєнта ПДВ.

Можна припустити, що замінивши кругову ЛОО на еліптичну, орієнтовану більшою віссю уздовж напрямку градiєнта, ми отримаємо вибірку з кращими статистичними властивостями. Тоді ЛОО можна описати як:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1, \quad (3.14)$$

де x, y – координати;

$a = k \cdot h$ – більша піввісь еліпса (дорівнює k крокам сітки), км;

$b = \frac{a}{2}$ – менша піввісь еліпса (дорівнює половині більшій півосі), км.

Дослідження показали, що при значеннях градiєнта ПДВ 0,8 і більше при реалізації методу оптимальної лінійної інтерполяції виникають похибки, що призводять до погіршення результату. При таких градiєнтах, усереднювання потужності дози випромінювання збільшує зони забруднення, що особливо проявляється в районах розташування осередків радіоактивного забруднення.

У зв'язку з цим, при значеннях градiєнтів 0,8 і вище, для розрахунку ПДВ у вузлі інтерполяції доцільно розглядати не усю вибірку вимірювань, що потрапили всередину ЛОО, а тільки три-чотири точки, що знаходяться ближче за інших до вузла.

Таким чином, корекція параметрів цифрового зображення проводиться за рахунок зміни розмірів, форми і орієнтації локально-однорідної області залежно від напрямку і величини градiєнта в однорідній ізотропній ділянці поля потужності дози випромінювання. Алгоритм корекції представлений на рис. 3.3.

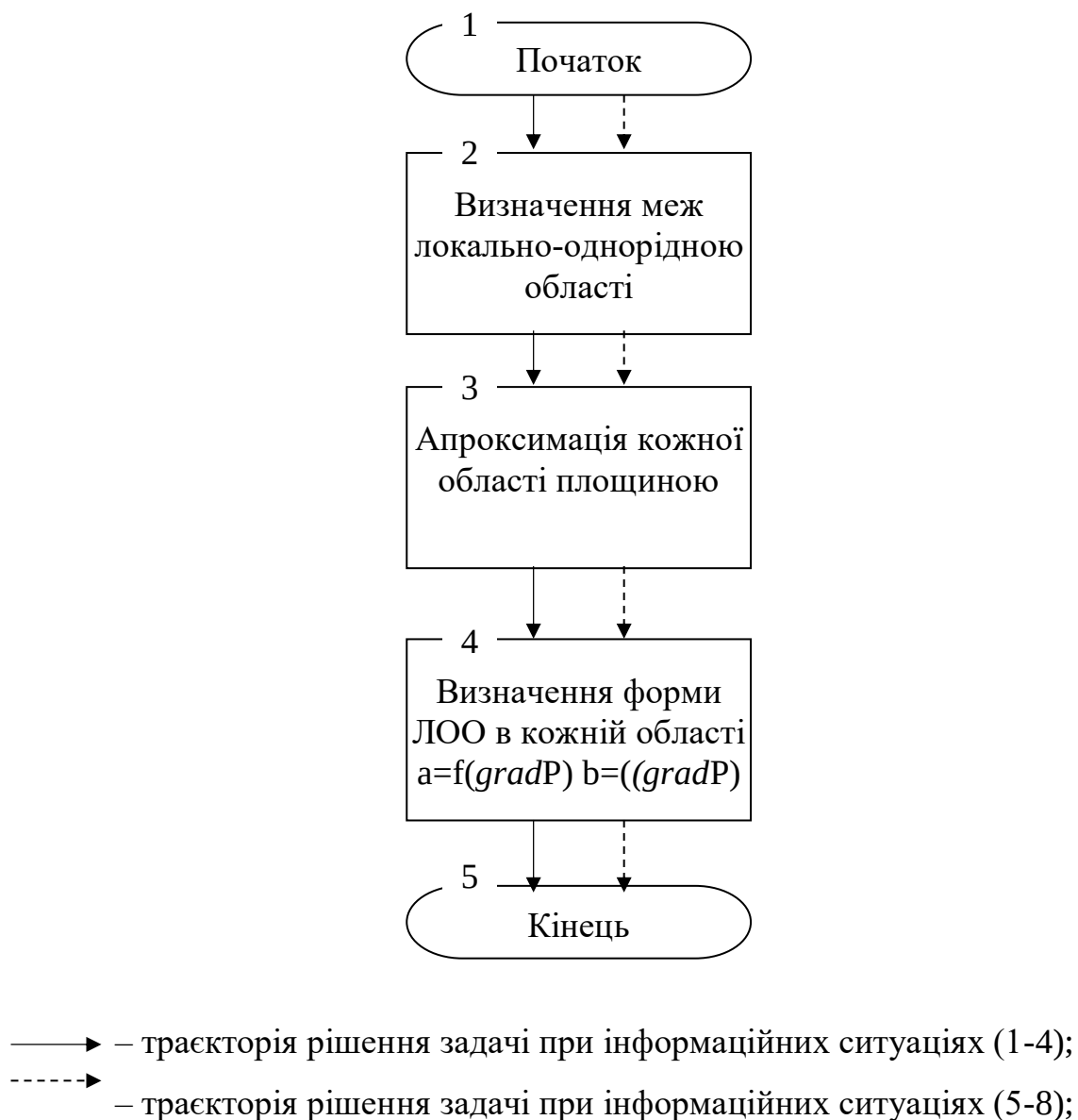
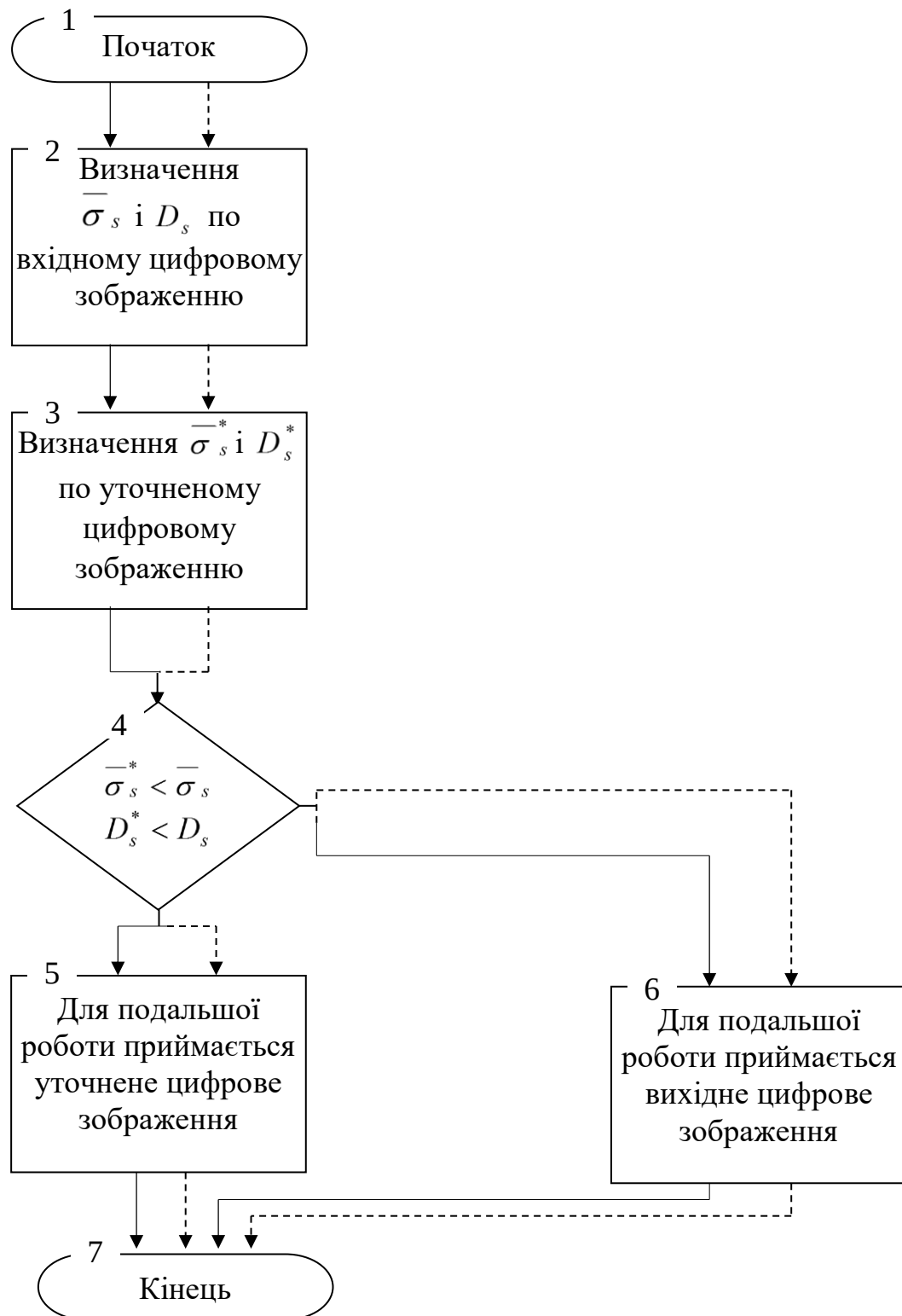


Рис. 3.3. Корекція параметрів методу лінійної оптимальної інтерполяції

3.3.2. Оцінка адекватності уточненого цифрового зображення поля потужності дози випромінювання

Після уточнення параметрів оптимальної лінійної інтерполяції формується нове (уточнене) цифрове зображення поля ПДВ (рис. 3.4).



- > – траєкторія рішення задачі при інформаційних ситуаціях (1-4);
 - - - - -> – траєкторія рішення задачі при інформаційних ситуаціях (5-8).

Рис. 3.4. Перевірка адекватності уточнених параметрів МЛОІ

Для оцінки адекватності змін (рис. 3.4.) скористаємося наступними критеріями:

середня відносна похибка розрахунку ПДВ по цифровому зображенню ($\bar{\sigma}_s$);
 дисперсія відносної похибки визначення ПДВ по цифровому зображенню (D_s):

$$\bar{\sigma}_s = \frac{\sum_{i=1}^n \sigma_{si}}{n}; \quad (3.15)$$

$$D_s = \frac{\sum_{i=1}^n (\sigma_i - \bar{\sigma})^2}{n-1}, \quad (3.16)$$

де

$$\sigma_{si} = \frac{|P_i - P_{si}|}{P_i}; \quad (3.17)$$

де P_i – потужність дози випромінювання виміряна в i -ій точці, рад/год;
 P_{si} – потужність дози випромінювання розрахована в тій же точці методом
 інтерполяції по цифровому зображенню, рад/год;

n - кількість точок вимірювань потужності дози випромінювання.

Значення цих критеріїв розраховуються по вихідному $(\bar{\sigma}_s, D_s)$ і
 уточненому $(\bar{\sigma}_s^*, D_s^*)$ цифровим зображенням.

Висновок про адекватність уточнення параметрів оптимальної лінійної
 інтерполяції робиться на основі порівняння цих критеріїв. Якщо середня
 відносна похибка визначення ПДВ за уточненим цифровим зображенням та її
 дисперсія менше, ніж у початкового, то перетворення вважаються коректними і
 всі подальші розрахунки виконуються на основі знову сформованої сітки. У
 протилежному випадку, повертаються до початкової структури.

3.4. Екстраполяція характеристик поля радіоактивного забруднення місцевості в часі з урахуванням вимірних значень потужності дози випромінювання

Для екстраполяції радіоактивного забруднення місцевості в часі зазвичай використовують закон Вея-Вигнера

$$P = P_1 t_u^{-n}, \quad (3.18)$$

де P – потужність дози випромінювання, яку необхідно розрахувати, рад/год;

P_1 – потужність дози випромінювання в цій же точці на одну годину після викиду радіоактивних речовин, рад/год;

t_u – час на який необхідно визначити потужність дози випромінювання, год. після викиду;

n - коефіцієнт спаду потужності дози випромінювання.

Відомо, що коефіцієнт n не є постійною величиною. Для ядерного вибуху його значення зазвичай приймають рівним 1,2. Однак це середнє значення в певній мірі є вірним для сліду одиночного ядерного вибуху. Значення коефіцієнта спаду суттєво залежить від складу радіонуклідів, який, у свою чергу, залежить від типу джерела радіонуклідів (вибух, аварія), тривалості експлуатації реактора, частоти накладання слідів t_i . Крім того, при складній радіаційній ситуації значення n різне для різних перетинів поля.

Зараз створені технічні засоби радіаційної розвідки та дозиметричного контролю четвертого покоління [38]. Прилади не лише вимірюють ПДВ, але й оперативно визначати ізотопний склад радіонуклідів.

Під час вирішення цієї задачі АСКРО (АСУ) матимуть інформацію про склад та активність радіоактивних ізотопів у точках вимірювання. При цьому достовірність прогнозування змін ПДВ в часі буде залежати лише від щільності точок контролю та точності вимірювань.

Дані про склад і активність радіонуклідів можуть оброблятися МЛОІ, аналогічно даним про ПДВ, і зберігатися у вузлах сітки цифрового зображення поля. Це дозволить не лише прогнозувати зміну ПДВ в часі, але і виявляти і відображати ізолінії зон забруднення для кожного ізотопу окремо. Таке завдання особливо актуальне для систем моніторингу довкілля.

У зв'язку з тим, що доки такі технічні засоби знаходяться у стадії ідей, визначення коефіцієнта спаду є дуже складним технічним завданням. Проте відомі і інші методи екстраполяції процесів в часі. Одним з них є метод аналізу тимчасових рядів.

У автоматизовані системи контролю (управління) дані вимірювань потужності дози випромінювання поступають в дискретному вигляді. Це пов'язано з технічною і організаційною складнощами виміру і передачі даних про радіоактивне забруднення. Після формування сліду потужність дози випромінювання в точці є часовим процесом $P_i(t)$.

В якості вихідних даних в автоматизованих системах можуть знаходитися такі послідовності вимірювань на моменти часу $t_1, t_2, \dots$, розділені, в загальному випадку, довільними тимчасовими інтервалами $[t_i, t_{i+1}]$. Такі послідовності утворюються в АСКРО в результаті функціонування системи радіаційного моніторингу, де результати вимірювань поступають від постів контролю. Для АСКРО така ситуація найбільш характерна. Це обумовлено наявністю стаціонарних датчиків, а також у разі ведення радіаційної розвідки методом реперної мережі. Отже, у базі даних знаходитимуться результати вимірювань ПДВ, вироблені в одній точці кілька разів, на різні моменти часу. Таким чином, з'являється можливість кластеризувати ці данні розвідки в тимчасові ряди.

Метод аналізу тимчасових рядів призначений для обробки результатів вимірювань, зроблених в моменти часу t_i [$i = 1, 2, \dots$], причому проміжок часу $[t_i, t_{i-1}]$ - величина постійна. У загальному випадку, у базі даних радіаційної розвідки може не виявитися послідовностей, обмежених такими жорсткими умовами. Тоді, формування необхідних рядів може здійснюватися двома способами:

- вибіркою з тимчасового ряду;

- накопиченням значення потужності дози випромінювання впродовж деякого періоду часу.

Маючи вибірки тимчасових рядів, можна приступити до прогнозування поля РЗМ. При цьому основним інструментом слугуватиме математична модель, побудована за результатами спостережень рядів до моменту прогнозування. Оскільки при визначенні параметрів моделей використовуватимуться не самі числові характеристики тимчасових рядів, а оцінки цих характеристик, то отримувані моделі виявляються наближеними. Для підвищення точності моделювання робиться коригування і інтерактивна підгонка моделей до фактичних (істинних) характеристик тимчасових рядів.

При побудові математичної моделі випадкового тимчасового ряду P_t передбачається, що він генерується сукупністю (послідовністю) випадкових імпульсів $\aleph_t [t=1, \dots]$. Передбачається, що якою б не була залежність послідовних значень P_t тимчасових рядів, імпульси $\aleph_t, \aleph_{t-1}, \dots$ що їх генерують взаємонезалежні. При цьому усі вони мають однакові фіксовані закони розподілу, найчастіше нормальні, з математичними очікуваннями рівними нулю і однаковими дисперсіями. Тобто послідовність $(\aleph_t, \aleph_{t-1}, \aleph_{t-2} \dots)$ є білим шумом.

Отже, передбачається, що білий шум $\aleph_t$ трансформується у випадковий процес P_t за допомогою фільтру. Операція фільтрації полягає в уявленні P_t у вигляді зваженої суми результатів попередніх спостережень імпульсів $\aleph_t$, тобто:

$$P_t = \aleph_t + \varphi_1 \aleph_{t-1} + \varphi_2 \aleph_{t-2} + \dots = \aleph_t + \sum_{i=1}^{\infty} \varphi_i \aleph_{t-i} = \Phi(H) \aleph_t \quad (3.19)$$

де φ_i – ваговий коефіцієнт фільтру;

$\Phi(P)$ – передавальна функція фільтру

$$\Phi(H) = 1 + \varphi_1 H + \varphi_2 H^2 + \dots; \quad (3.20)$$

тут H – оператор зрушення назад

$$H^k P_t = P_{t-k}. \quad (3.21)$$

Після чого, необхідно у момент часу t дати прогноз значення P_{t+l} тимчасового ряду у момент часу $t+l$, де $l \geq 1$ – час упередження прогнозу:

$$P_{t+l} = \aleph_{t+l} + \varphi_1 \aleph_{t+l-1} + \dots = \aleph_{t+l} + \sum_{i=1}^{\infty} \varphi_i \aleph_{t+l-i} = \aleph_{t+l} + \sum_{j=-\infty}^{t+l} \varphi_{t+l-j} \aleph_j. \quad (3.22)$$

Середньоквадратична похибка прогнозу дорівнює:

$$\sigma_{P_{t+l}} = \sqrt{1 + \sum_{j=1}^{l-1} \varphi_j^2 \sigma_{\aleph}}, \quad (3.23)$$

де $\sigma_{\aleph}$ – середньоквадратична похибка імпульсів білого шуму.

Звідси визначається довірча вірогідність прогнозу:

$$\beta(P_{t+l}) = 2\Phi_0\left(\frac{\varepsilon}{\sigma_{P_{t+l}}}\right), \quad (3.24)$$

де Φ_0 - функція Лапласа;

ε – характеристика прогнозу, рівна половині довірчого інтервалу, і довірчий інтервал:

$$I_{\beta}(P_{t+l}) = [P_{t+l} - \varepsilon, P_{t+l} + \varepsilon]. \quad (3.25)$$

Схема прогнозу представлена на рис. 3.5.

Перевагою такого підходу до екстраполяції поля ПДВ в часі є можливість корекції прогнозу при надходженні нових даних розвідки. Дійсно, якщо у момент часу t проводяться прогнози з попередженням 1, то як тільки стає відомим значення потужності дози у момент часу $(t+1)$, з'являється можливість корекції прогнозу на величину різниці між прогнозованим і виміряним значеннями на цей час. Операція корекції проста і не вимагає великих обчислювальних ресурсів.

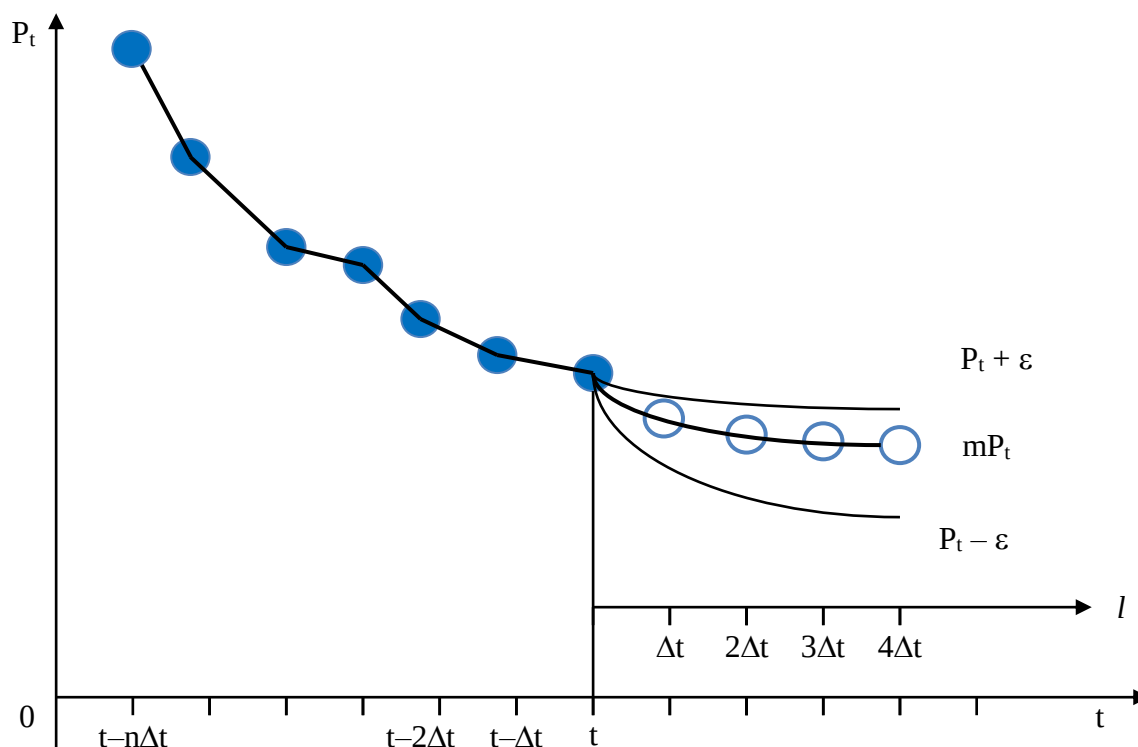


Рис. 3.5. Схема прогнозу і довірчі межі з попередженням l

Таким чином, використовуючи математичні моделі поля РЗМ, засновані на аналізі тимчасових рядів, є можливість прогнозувати радіаційну обстановку за даними радіаційного спостереження і розвідки. Цей метод застосовний не лише для полів, близьких до модельних, але і для структур із складною топологією.

3.5. Функціональні можливості спеціального програмного забезпечення для моделювання радіаційної обстановки

3.5.1. Моделювання даних радіаційної розвідки

Розробка процедур моделювання даних радіаційної розвідки місцевості викликана необхідністю мати інформацію про радіаційну обстановку при різних варіантах аварійних ситуацій, а також при застосуванні ядерної зброї. Крім того, результати роботи процедур можуть використовуватися у військах і військово-учбових закладах для навчання виявленню і оцінюванню радіаційної обстановки.

Радіаційна розвідка місцевості може вестися по маршрутах і в районах. У зв'язку з цим, було використано два різні підходи до моделювання даних: розвідка маршруту і розвідка району.

Вихідні дані, які потрібні для роботи процедур можна розділити на умовно постійні і умовно змінні. До умовно постійних вихідних даних відносяться:

- дані про осередки радіоактивного забруднення;
- дані про напрямок і швидкість середнього вітру.

При моделюванні радіаційної розвідки на маршруті умовно змінними вихідними даними, крім того, будуть:

- швидкість ведення розвідки, км/год;
- відстань між точками вимірювань ПДВ, км;
- коефіцієнт послаблення ПДВ технічним засобом РХР;
- коефіцієнт звивистості маршруту;
- час початку ведення розвідки;
- похибка приладу при вимірюванні ПДВ, %;
- похибка при визначенні координат точки виміру ПДВ, км;
- координати вузлових точок маршруту радіаційної розвідки.

При моделюванні радіаційної розвідки в районі умовно змінними вихідними даними є:

- середня щільність точок розвідки в районі, км⁻²;
- інтервал часу проведення вимірювань ПДВ ;
- похибка приладів при вимірюванні ПДВ %;
- похибку при визначенні координат точок вимірювань ПДВ, км;
- координати вузлових точок району радіаційної розвідки.

Таким чином, умовно постійні вихідні дані характеризують поле радіоактивного забруднення місцевості, а умовно змінні – спосіб виявлення цього поля. Змінюючи умовно змінні вихідні дані, ми маємо можливість визначити оптимальний варіант ведення радіаційної розвідки місцевості і добитися найкращої якості виявлення радіаційної обстановки.

Функціональна схема роботи одного циклу процедур моделювання даних радіаційної розвідки приведена на рис. 3.6.

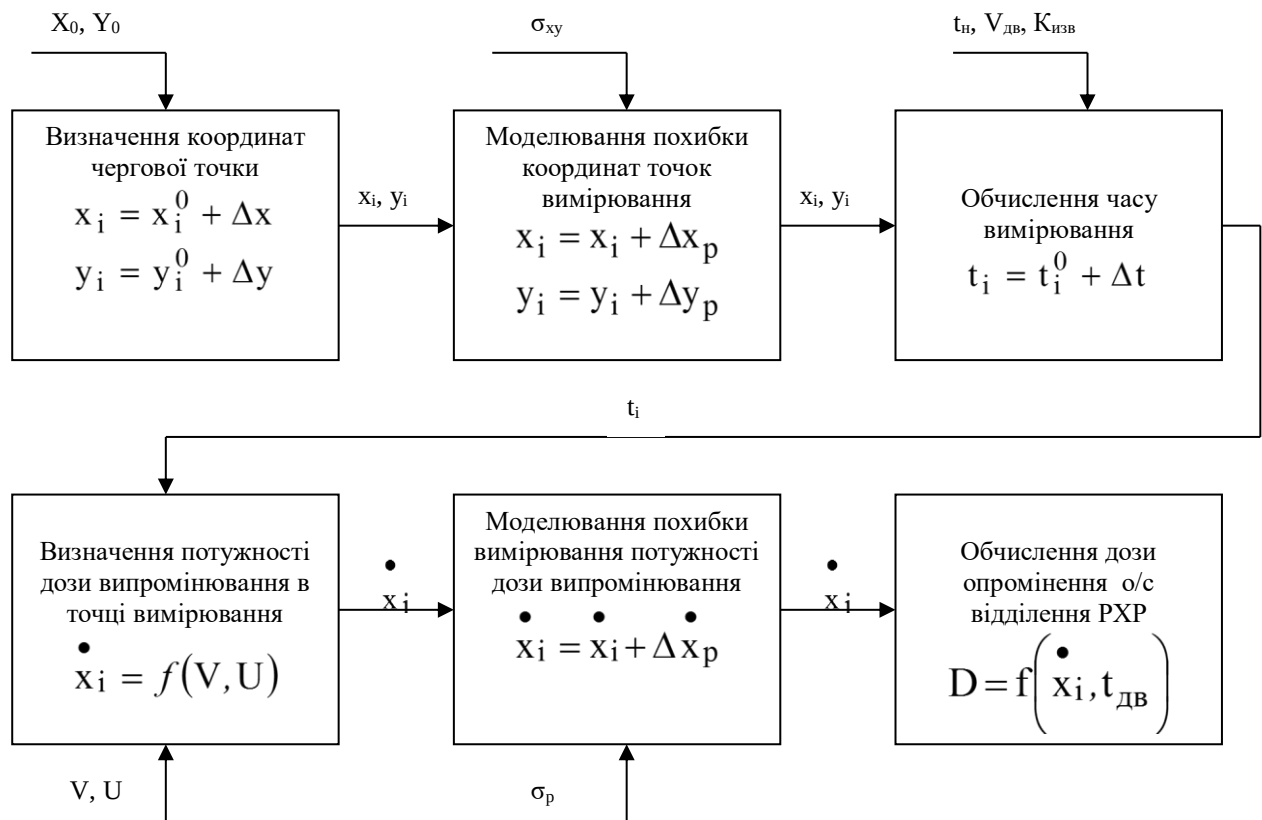


Рис. 3.6. Функціональна схема роботи процедур моделювання даних радіаційної розвідки

Після введення вихідних даних управління передається процедурі моделювання вихідних даних на маршруті підрозділу РХР.

У цій процедурі здійснюється розрахунок координат чергової точки виміру ПДВ і часу приходу до неї. Далі визначається потужність дози випромінювання методом прогнозу за інформацією про осередки радіоактивного забруднення. Потім в розраховані значення координат і потужності дози вводиться похибка виміру, визначена випадковим чином за нормальним законом.

Після того, визначається можлива доза опромінення, що отримується особовим складом підрозділу РХР за час ведення розвідки.

При моделюванні точок радіаційної розвідки району, зберігається багато спільного з вищеописаним підходом. Проте є і відмінності.

Так, координати точок визначення ПДВ обираються випадково за рівномірним законом на інтервалі мінімальних і максимальних координат заданого району з подальшою перевіркою потрапляння в нього. Процес формування точок закінчується при досягненні щільності вимірювань ПДВ заданої величини. Час вимірювання визначається також випадковим чином усередині визначеного користувачем інтервалу за рівномірним законом розподілу.

Таким чином, використовуючи вищеописані процедури, можна моделювати дані радіаційної розвідки місцевості для різних сценаріїв, як аварійних ситуацій, так і при застосуванні ядерної зброї для варіантів ведення як наземної, так і повітряної радіаційної розвідки.

3.5.2. Алгоритм формування цифрового зображення поля потужності дози випромінювання методом лінійної оптимальної інтерполяції

Формування цифрового зображення поля ПДВ є необхідним елементом роботи методики послідовної параметричної адаптації. Цей процес виконується на етапі висунення і перевірки гіпотез вихідних даних параметризованої моделі, а також у разі неможливості побудови такої моделі, для уточнення цифрового зображення.

При формуванні цифрового зображення поля ПДВ відбувається багатократне звернення до даних розвідки, у зв'язку з цим, як показала практика, є доцільним відсортувати їх по одній з координат. Для цього була розроблена процедура сортування. В результаті роботи названої процедури ці данні розвідки розміщуються, в порядку зростання координати Y. Такий прийом дозволяє у декілька разів прискорити роботу програми, залежно від об'єму даних що обробляються.

Основні процедури формування цифрового зображення згруповані в модуль, який розміщує дані про виміряні потужності доз в динамічній області пам'яті. Це необхідно для підвищення оперативності виконання розрахунків.

Використання динамічної пам'яті дозволяє збільшити швидкодію в десятки і навіть сотні разів, залежно від розміру бази даних радіаційної розвідки.

Основна процедура, що здійснює генерацію такого зображення визначає розмір матриці цифрового зображення, кількість рядків і стовпців. Потім для кожної точки формується вибірка вимірювань, що потрапили всередину локально-однорідної області, і розраховується значення ПДВ методом лінійної оптимальної інтерполяції.

Для перевірки працездатності пропонованої методики, в частині реалізації розрахунків по цифровому зображенню поля ПДВ, було розроблено декілька процедур. Одна з них визначає точки перетину ізоліній зон забруднення як стандартних, так і визначених користувачем з лініями сітки цифрового зображення. З використанням цих точок, на наступному етапі, здійснюється відображення фактичного РЗМ на СПЗ електронної карти.

Таким чином, створений набір процедур, дозволить оцінити надалі працездатність і оперативність запропонованої методики в частині створення і обробки інформації про фактичний РЗМ з використанням методу лінійної оптимальної інтерполяції.

3.5.3. Програмний модуль параметричної адаптації моделі радіоактивного забруднення місцевості

Для перевірки працездатності методики послідовної параметричної адаптації моделі РЗМ даними радіаційної розвідки був створений програмний модуль, який дозволяє проводити адаптацію моделей при низькій щільності даних радіаційної розвідки. Такі ситуації можливі у момент початку збору даних про фактичний РЗМ, зокрема, коли інформація поступила лише з пунктів управління, а підрозділи радіаційної розвідки тільки приступили до ведення розвідки.

Модуль складається з декількох процедур:

- основна процедура;

- процедура, яка використовується для визначення хибних векторів вихідних даних параметризованої моделі;
- процедурою, яка призначена для визначення напряму максимальних значень ПДВ радіаційного поля;
- процедура, яка служить для визначення значень векторів вихідних даних параметризованої моделі;
- процедура, яка призначена для визначення втрачених векторів вихідних даних параметризованої моделі;
- процедура, яка використовується для розрахунку значень критеріїв початкової параметризованої моделі.

В результаті роботи перерахованих процедур формуються вихідні дані параметризованої моделі, і обчислюються значення критеріїв адекватності початковою і адаптованою моделями, на основі яких робиться висновок про доцільність їх використання.

3.6. Технології моделювання радіоактивного забруднення місцевості та метеоумов

3.6.1. Моделювання радіоактивного забруднення місцевості та метеоумов

Перш ніж перейти до аналізу роботи запропонованого моделювання, доцільно розглянути, які значення приймають вибрані критерії оцінки адекватності моделі (середня і максимальна відносні похибки відновлення даних в точках виміру і середньоквадратичне відхилення похибки), якщо параметри моделі відповідають фактичним значенням. Тобто, необхідно оцінити, наскільки чутлива модель до похибок вимірювань потужності дози випромінювання, координат точок вимірювань і щільності точок розвідки за умови, що дані про осередки радіоактивного забруднення і метеоумови похибок не мають.

Для цього був розглянутий фрагмент поля РЗМ, утворений трьома осередками радіоактивного забруднення. На даній ділянці моделювалися дані

радіаційної розвідки з похибкою 30%, розподіленою за нормальним законом і похибками визначення координат точок вимірювань до 200 метрів.

Як вихідні дані параметризованої моделі, використовувалися значення характеристик осередків радіоактивного забруднення і метеоумов. При цьому були отримані наступні значення критеріїв адекватності моделі для щільності точок вимірювань 0.02 км^{-2} (одна точка на 50 км^2):

- середня відносна похибка розрахованого значення ПДВ до виміряного - 16%;
- максимальна відносна похибка розрахованого значення ПДВ до виміряного - 100%;
- середнє квадратичне відхилення відносної похибки (с.к.в.) - 67%.

При щільності точок контролю $0,05$ і $0,08 \text{ км}^{-2}$ (1 точка на 20 і $12,5 \text{ км}^2$) значення критеріїв склали відповідно до $14, 334, 189$ і $12, 113, 44$ відсотків.

Наведені вище розрахунки були повторені для даних радіаційної розвідки, які моделювалися з похибкою 100%. Значення критеріїв, в цьому випадку склали $13, 100, 28$; $15, 104, 41$ і $16, 200, 47$ відсотків відповідно.

Таким чином, при побудові моделей, що параметризуються, не слід чекати отримати значення критеріїв адекватності краще чим 10-20% – для середньої відносної похибки, 100-300 – для максимальної похибки і 50-200 для малої.

Для визначення можливості знаходження максимумів поля ПДВ були використані результати вимірювань потужності дози випромінювання в районі осередка ядерного вибуху. При обробці цих даних радіаційної розвідки максимум поля ПДВ був виявлений на відстані 360 м від осередка ядерного вибуху, враховуючи, що крок сітки цифрового зображення склав в даному випадку 1,1 км. Це свідчить про принципову можливість формування вихідних даних параметризованої моделі, за результатами вимірювань ПДВ і працездатності запропонованої методики уточнення координат осередків РЗМ.

На жаль, ми не маємо в розпорядженні даних радіаційної розвідки на слідах ядерних вибухів, які були б отримані в перші години або добу після

випадання радіоактивних осадів. Тому подальша перевірка працездатності пропонованої методики здійснювалася на моделях.

Слід відразу обмовитися, що не завжди вдається побудувати параметризовану модель. Дослідження показали, що дуже велике значення має просторове розташування точок вимірювань ПДВ відносно осередків РЗМ, що значною мірою визначає інформативність точок контролю. Дійсно, якщо жодна точка виміру не потрапила на слід осередка радіоактивного забруднення, то недоцільно говорити про адаптацію моделі. Навпаки, якщо радіаційна розвідка велася в районах епіцентрів, осей слідів і мала завдання виявити межі радіоактивного забруднення, то така інформація матиме найбільшу інформативність для відновлення поля РЗМ. Питання оптимізації маршрутів ведення радіаційної розвідки (розміщення датчиків в АСКРО) з метою найбільш точного виявлення фактичної радіаційної обстановки при мінімальних витратах часу і ресурсів, є дуже складним і вимагає окремого вивчення.

Перевірка працездатності моделі проводилася при різних ситуаціях. На першому етапі перевірялася можливість адаптації моделі за наявності грубих похибок визначення напрямку вітру. Така ситуація можлива, якщо зондування атмосфери проводилося на значному видаленні від району викиду радіоактивних речовин, або метеодані застаріли. Результати адаптації показали можливість поліпшення якості моделі у декілька разів. У кожному конкретному випадку величина зміни критеріїв моделі залежала від точності вимірювань ПДВ, щільності точок контролю, їх орієнтації відносно слідів РЗМ і ряду інших факторів. Визначити кількісну залежність між якістю моделі і значеннями вихідних даних не вдалося у зв'язку з тим, що питання інформативності точок вимірювань ПДВ сьогодні недостатньо досліджене.

Так, наприклад, для поля поодинокого ядерного вибуху потужністю 100 тис. т, яке моделювалося з відхиленням напрямку середнього вітру на 30 градусів, при середній щільності точок розвідки $0,05 \text{ км}^{-2}$ (1 точка на 20 км^2) середня відносна похибка розрахунку ПДВ в точках вимірювань зменшилася після адаптації більш ніж в 3 рази.

Аналогічна картина спостерігається і при похибці визначення потужності ядерного вибуху. Середня похибка відновлення після адаптації зменшилася приблизно в 3 рази.

На наступному етапі перевірялася можливість адаптації моделі за наявності осередків радіоактивного забруднення, апріорні дані про яких відсутні. Для моделювання поля ПДВ використовувалася інформація про три осередка радіоактивного забруднення. Щільність точок розвідки варіювалася від 0,02 до 0,08 км⁻². Потім з вихідних даних по черзі видалялося одне з осередків радіоактивного забруднення, розраховувалися критерії моделі, побудованої за апріорними даними про осередки радіоактивного забруднення (без одного осередка радіоактивного забруднення), і проводилася адаптація. Для кожної реалізації експерименту моделювалися свої данні розвідки. Результати адаптації приведені в таблицю. 3.1.

Таблиця 3.1 Середня відносна похибка розрахунку потужності дози випромінювання в точках вимірювань (у долях)

Номер незареєстрованого осередка радіоактивного забруднення	Щільність точок радіаційної розвідки, 1/ км ²					
	0.02		0.05		0.08	
	Початкова модель	Адаптована модель	Початкова модель	Адаптована модель	Початкова модель	Адаптована модель
Перший	9.23	4.07	7.13	2.42	10.48	—
Другий	0.17	—	0.25	—	0.23	—
Третій	7.52	4.07	8.55	2.55	10.20	4.50

Тире вказують на те, що параметрична адаптація результатів не дала. Викликає особливий інтерес другий рядок наведеної таблиці, коли за відсутності одного осередка радіоактивного забруднення в вихідних даних модель прогнозу РЗМ, виявляється дуже високої якості і не піддається адаптації. Аналіз показав, що такі ситуації можливі, коли радіоактивний слід від одного осередка радіоактивного забруднення повністю потрапив всередину іншого, більший потужності, їх осі досить близькі, а радіаційна розвідка в районі осередка радіоактивного забруднення меншої потужності не проводилася. Виявлення

подібних ситуацій можливе тільки при підвищенні щільності точок вимірювань ПДВ.

Таким чином, метод послідовної параметричної адаптації моделі РЗМ даними радіаційної розвідки дає можливість у ряді випадків уточнювати прогноз радіоактивного забруднення і може бути використаний в цілях виявлення радіаційної обстановки. Методика, розроблена на його основі, дозволяє у декілька разів (до 3-х і більше) зменшити похибку відновлення потужності дози випромінювання. Вона може застосовуватися при щільності точок контролю значно нижче нормативних (до $0,02 \text{ км}^{-2}$). Результати моделювання радіаційної обстановки показують, що частота появи ситуацій, коли адаптація можлива, складають близько 60%.

3.6.2. Моделювання радіоактивного забруднення місцевості за модельними і реальними даними

Адаптація моделі РЗМ не призводить до успіху в двох випадках, коли:

- радіоактивне забруднення місцевості різко відрізняється від модельного;
- дані радіаційної розвідки не є досить інформативними для застосування методики послідовної параметричної адаптації.

У таких ситуаціях виявлення обстановки можливо здійснити іншими методами. У другому розділі роботи був розглянутий метод лінійної оптимальної інтерполяції, який реалізований за допомогою процедур, описаних в п.3.2.2. Перевірка працездатності методу здійснювалася з використанням модельних даних радіаційної розвідки. При моделюванні в розраховані значення ПДВ вводилися похибки, рівні 30 %, а похибка визначення координат складала 200 метрів.

Для перевірки працездатності запропонованої методики використані дані радіаційної розвідки в районі аварії Чорнобильської АЕС [40] (додаток Б). Для обробки використовувалося 58 значень ПДВ, виміряних безпосередньо на території станції. За даними на 1 вересня 1986 року були виявлені ізолінії з потужністю дози випромінювання, рівної 30, 10 і 0.5 Р/год (додаток В.1). Ці ж

ізолінії були визначені з використанням даних від 1 жовтня того ж року (додаток В.2). Аналіз цих двох зображень наочно показує, що із-за спаду активності продуктів ядерної реакції розміри ділянок забруднення зменшилися, проте конфігурація поля ПДВ зберегла усі свої основні риси.

Обробка даних від 1 листопада 1986 року, 2 і 31 січня 1987 року (рис. 3.7.), при якій виявлялися ізолінії зі значеннями ПДВ 6, 2 і 0,1 Р/год, також свідчить про те, що з часом топологія радіаційного поля не терпить різких змін.

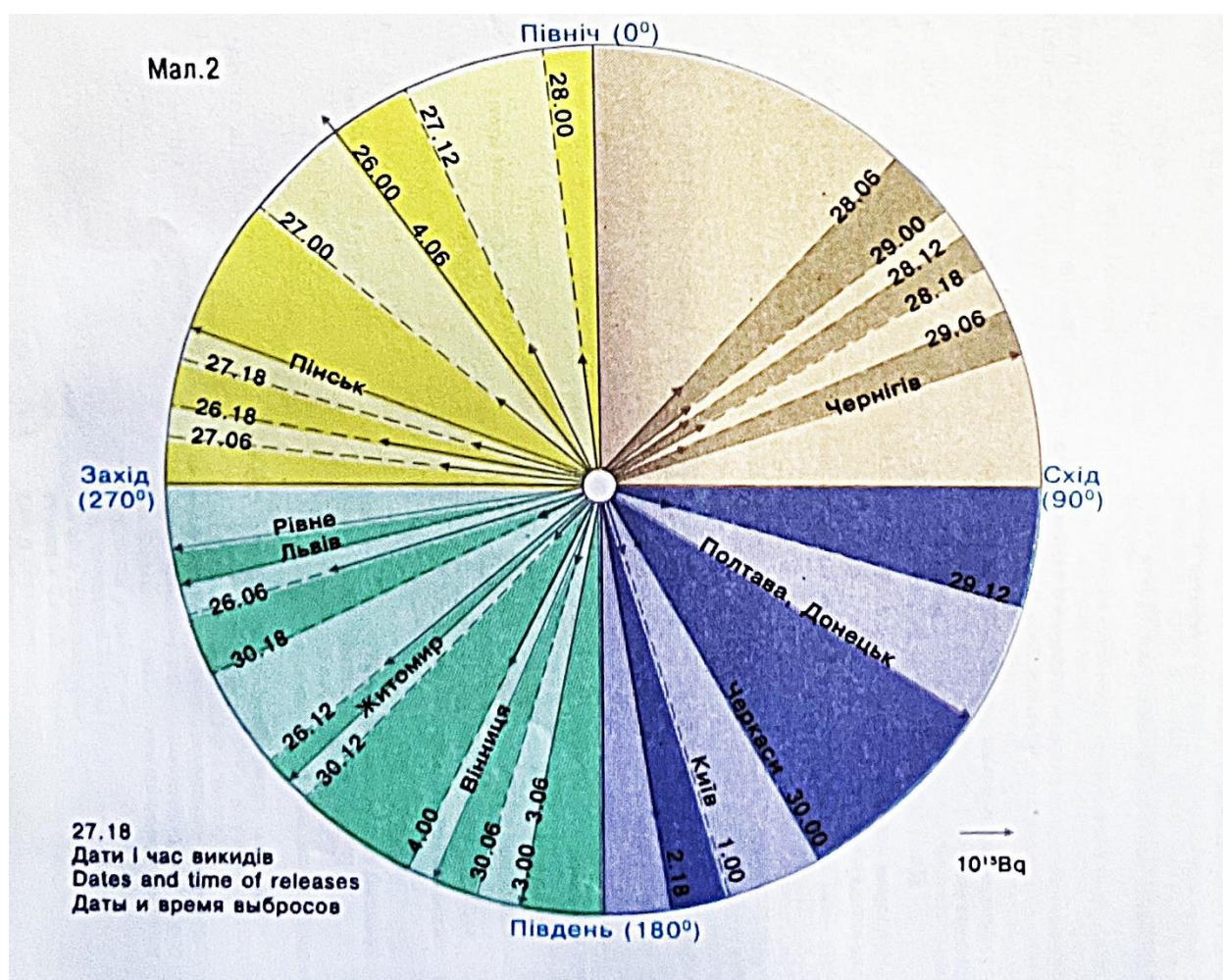


Рис. 3.7. Діаграма даних викидів за матеріалами радіаційної розвідки

Оробляючи дані радіаційної розвідки одного і того ж радіаційного поля, рознесені за часом на 5 місяців, ми виявляємо кожного разу поле з схожою топологією. Це також може свідчити про достовірність результатів, що отримуються при використанні запропонованої методики.

Таким чином, перевірка працездатності запропонованої методики проводилася на вихідних даних, отриманих в результаті аварії ядерної енергетичної установки. Використовувалися значення виміряних потужностей доз випромінювання.

Можна припустити, що методика в якості вихідних даних може використати і інші характеристики поля РЗМ.

Для аварії на Чорнобильській АЕС середня похибка відновлення виміряних значень знижувалася зі зменшенням величин цих параметрів на усіх вибірках ПДВ (3.8.). Середня похибка відновлення потужності дози випромінювання в точках виміру коливалася від 103 до 134 відсотків.

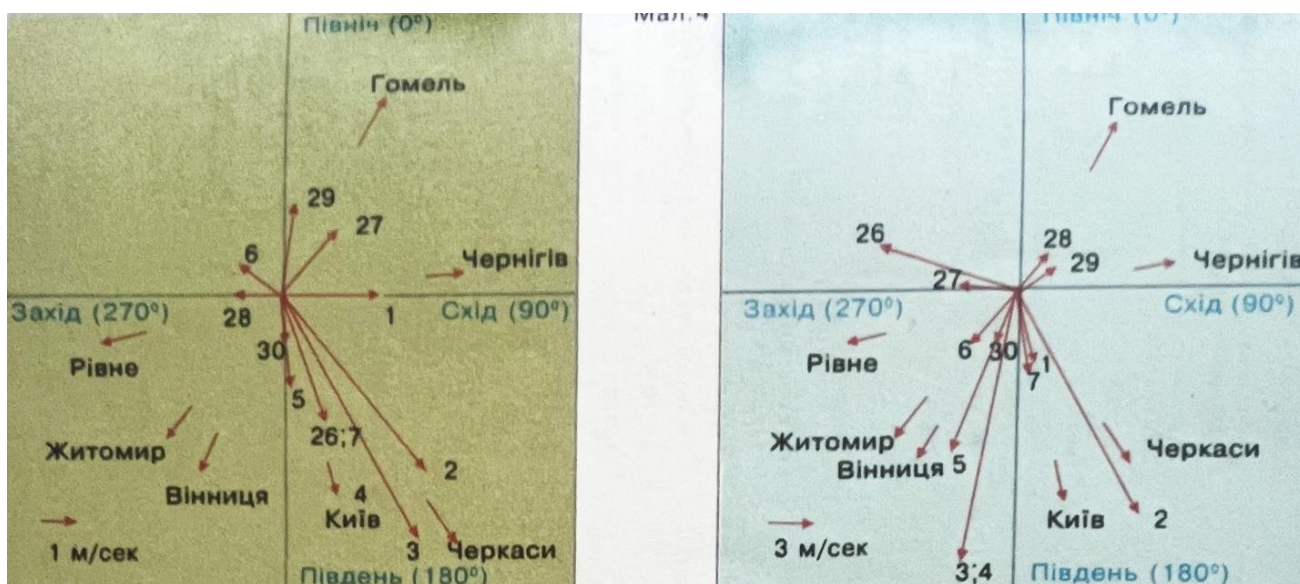


Рис. 3.8. Роза вітрів для викидів радіації за матеріалами радіаційної розвідки

Слід зазначити, що зменшення кроку сітки і радіусу ЛОО призводить до деталізації зображення ізоліній ПДВ на електронній карті. Як виявилось, в деяких випадках це призводить до різкого погіршення сприйняття інформації людиною. Велика кількість відображених локальних плям забруднення на обмеженій ділянці місцевості ускладнює оцінку радіаційної обстановки. Тому іноді є за доцільне отримати загальні (без зайвої деталізації) зображення зон забруднення, навіть, якщо це знижує якість моделі.

Таким чином, в якості вихідних даних для виявлення фактичного забруднення місцевості за даними радіаційної розвідки можуть бути використані не лише значення потужностей доз випромінювання, але і інші характеристики поля РЗМ. Це має велике значення для автоматизованих систем контролю радіаційної обстановки.

3.6.3. Реалізація методу аналізу тимчасових рядів для екстраполяції потужності дози випромінювання в часі

У другому розділі роботи було запропоновано використати метод аналізу тимчасових рядів для екстраполяції потужності дози випромінювання в часі в автоматизованих системах контролю радіаційної обстановки. Така необхідність обумовлена складністю оперативного визначення ізотопного складу і віку продуктів ядерної реакції. Використання ж фіксованого значення коефіцієнта спаду призводить до істотних похибок.

Запропонований спосіб простий, не вимагає громіздких обчислень і дозволяє легко коригувати прогноз при надходженні нових вимірювань. Для його реалізації необхідно знайти функцію передачі і рівень фільтру (п.2.7). В якості емпіричної залежності може бути запропонована наступна:

$$\dot{X}_{t+1} = \dot{X}_t - \dot{X}_t \left(\frac{\dot{X}_{t-1} - \dot{X}_t}{\dot{X}_{t-1}} \right)^2 \cdot \left(\frac{\dot{X}_{t-2}}{\dot{X}_{t-2} - \dot{X}_{t-1}} \right), \quad (3.26)$$

де $\dot{X}_t$ - потужність дози випромінювання, виміряна у момент часу t , рад/год;

$\dot{X}_{t-1}$, $\dot{X}_{t-2}$ - потужності доз випромінювання, які виміряні в тій же точці раніше через фіксовані проміжки часу, рад/год;

$\dot{X}_{t+1}$ - потужність дози випромінювання, що прогнозується в цій же точці через фіксований проміжок часу, рад/год.

Розрахувавши значення ПДВ на момент часу $t+1$, можна скористатися їм для прогнозування потужності дози у момент часу $t+2$ т.і.

Таким чином, для екстраполяції ПДВ в часі необхідно мати три вимірювання в точці, віддалені один від одного на рівних тимчасових інтервалах.

Для перевірки працездатності запропонованого способу були використані значення ПДВ на межах зон забруднення на різний час після вибуху. Для кожної зони моделювалися значення на 1, 2, 3, 4, 5 і 6 годин після вибуху. Потім на першому етапі, використовуючи перші три значення, складався прогноз на подальші три години і, знаючи модельні значення ПДВ, визначалася відносна похибка. На другому етапі для прогнозу використовувалися дані на 2, 3 і 4 години після вибуху, а розраховувалися на 5 і 6 годин. І, нарешті, на третьому етапі прогнозувалося значення ПДВ на 6 годин після вибуху, використовуючи величини, отримані на 3, 4 і 5 годин. Таким чином, є можливість простежити, як змінюється похибка прогнозування в залежності не лише від тривалості прогнозу, але і при подальшому його уточненні. Результати моделювання представлені в таблиці. 3.2.

Таблиця 3.2 Результати екстраполяції потужності дози випромінювання методом аналізу тимчасових рядів

	Модель		8	3,5	2,1	1,5	1,1	0,9
	1-й етап	Прогноз				1,5	1,2	1,03
Зона А		Похибка, %				0	9,1	14,4
	2-й етап	Прогноз					1,19	1,02
		Похибка, %					8,2	13,3
	3-й етап	Прогноз						0,83
		Похибка, %						7,8
Зона Б	Модель		80	35	21	15	11	9
	1-й етап	Прогноз				15,03	11,99	10,26
		Похибка, %				0,2	9,0	14,0
	2-й етап	Прогноз					11,94	10,20
		Похибка, %					8,5	13,3
	3-й етап	Прогноз						8,26
Зона В		Похибка, %						8,2
	Модель		240	100	63	45	33	27
	1-й етап	Прогноз				48,21	41,04	37,16
		Похибка, %				7,1	24,4	37,64
	2-й етап	Прогноз					35,07	29,10
		Похибка, %					6,3	7,8
		Прогноз						24,79

	3-й етап	Похибка, %						8,2
Зона Г	Модель		800	350	210	150	110	90
	1-й етап	Прогноз				150,2	119,8	102,6
		Похибка, %				0,2	8,9	14,0
	2-й етап	Прогноз					119,3	101,9
		Похибка, %					8,5	13,3
	3-й етап	Прогноз						82,62
		Похибка, %						8,2

З отриманих даних видно, що максимальна відносна похибка при прогнозуванні на три тимчасові інтервали склала 37,6 відсотка. Як і слід було чекати, зі збільшенням тривалості прогнозування похибки прогнозу, як правило, зростають, а при подальшому уточненні зменшуються.

Проте на результатах прогнозування позначаються не лише процеси радіоактивного розпаду, але і масопереносу, дезактивації та інше. Крім того, похибки виміру потужності дози випромінювання, ймовірно, теж впливатимуть на якість екстраполяції. Отже, при роботі з реальними даними можна чекати інших результатів.

Для перевірки працездатності методу за реальними даними використовувалися результати вимірювань потужності дози випромінювання в контрольній точці номер 1 промзони Чорнобильської АЕС впродовж липня 1986 року (додаток Д). Розглядаючи їх як часовий ряд можна помітити, що він має два “стрибки”: 8 і 22 липня значення ПДВ знизилися в два рази. Це пояснюється, видаленням високоактивних часток (елементів Твелів) і дезактиваційними роботами в ході ліквідації наслідків аварії.

Прогнозування проводилося поетапно. Спочатку, використовуючи результати вимірювань за 1, 2 і 3 липня, складався прогноз на 10 днів, з 4 по 13 липня, і з урахуванням істинних значень ПДВ визначалася відносна похибка. Потім, обробляючи три інші значення за 2, 3 і 4 липня, прогнозувалася зміна потужності дози в період з 5 по 14 липня т.і. (додаток Д). Таблиця додаток Д має таку ж структуру, як і табл. 3.2.

З аналізу отриманих результатів видно, що в періоди відносно плавної зміни потужності дози випромінювання величина відносної похибки прогнозування коливається в межах 0-25 відсотків. Під час різких змін вимірюваної величини похибка складає від 80 до 180 відсотків. Це зрозуміло, оскільки цей метод не дозволяє прогнозувати зміну ПДВ в результаті проведення дезактиваційних робіт.

Таким чином, екстраполяція потужності дози випромінювання в часі методом аналізу тимчасових рядів може бути використана в розрахункових завданнях автоматизованих систем контролю радіаційної обстановки.

Висновки до розділу 3

1. Запропонована методика послідовної параметричної адаптації моделі радіоактивного забруднення місцевості даними радіаційної розвідки дозволяє оцінити і у ряді випадків поліпшити в 2-3 рази якість прогнозу РЗМ.

Методика може використовуватися при щільності точок розвідки, рівної 1 точка на 50 км² і більше, що важливо на початкових стадіях виявлення фактичної радіаційної обстановки.

2. Дослідження працездатності методу лінійної оптимальної інтерполяції показали доцільність його використання для виявлення радіоактивного забруднення місцевості на полях із складною топологією.

Вихідними даними при роботі методу можуть являтися як потужність дози випромінювання, так і питома активність радіонуклідів.

Реалізація запропонованого підходу дозволяє підвищити оперативність виявлення фактичного радіоактивного забруднення місцевості за даними розвідки в декілька сотень разів в порівнянні з рішенням завдань вручну і, як мінімум, в 5-7 разів - в існуючих автоматизованих системах.

3. Запропонований метод аналізу тимчасових рядів може бути використаний для екстраполяції характеристик радіаційного поля в часі в автоматизованих системах контролю радіаційної обстановки (АСУ) при невідомому складі радіонуклідів.

РОЗДІЛ 4.

УДОСКОНАЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ ВИНИКНЕННІ РАДІАЦІЙНОГО ЗАБРУДНЕННЯ

В розділі розглянуто використання методу інтерполюючого полінома для визначення виду вагової функції. Розглянута методика уточнення прогнозу на основі постів контролю, отриманих в динаміці формування РЗМ, що може бути використана на окремих етапах виявлення радіаційної обстановки, та дозволить фіксувати час характерних змін величини потужності дози випромінювання з незначними погрішностями.

Для оперативного та якісного вирішення задач управління, таких як здійснення маневру силами та засобами і відновлення порушеної системи, виникає необхідність включення до розвідувальних підрозділів повітряних мобільних засобів (безпілотних літальних апаратів), які обладнані засобами візуальної, телевізійної та зокрема радіаційної розвідки.

4.1. Використання методу інтерполюючого полінома для визначення виду вагової функції.

Метод потенційних функцій спочатку був розроблений для вирішення завдань розпізнавання образів [36]. У подальшому він знайшов ширше поширення, зокрема, для відновлення і апроксимації функцій по навчальній вибірці вимірювань. Ідея використання такого підходу для відновлення характеристик поля РЗМ за даними радіаційної розвідки є актуальною.

В цьому випадку для визначення виду вагової функції інтерполюючого полінома (1.34) використовується рекурентна процедура:

$$f_{n+1}(P) = f_n(P) + r_{n+1}U(P), \quad (4.1)$$

де $f_{n+1}(P)$ – n -е наближення функції на n -му кроці навчання;

r_{n+1} – деяка числова послідовність;

$U(P)$ – потенційна функція, що обчислюється як:

$$U(P) = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot u(P, P_i), \quad (4.2)$$

де α_i – числовий коефіцієнт;

$u(P, P_i)$ - потенціал чергової точки P_i , відносно точки P , який визначається як функція відстані між двома точками.

Таким чином, при появі чергової точки P_i на кожному n -му кроці будується n -е наближення апроксимуючої функції $f_n(P)$. Якщо відновлення характеристик поля РЗМ на основі вибірки вимірювань ПДВ ведеться в локально-однорідній області S , розміри якої нам відомі, то в якості потенційної функції можна використати:

$$u(P, P_{n+1}) = \exp(-\xi r^2), \quad (4.3)$$

де $r=r(P, P_{n+1})$ – відстань між точкою P , відносно якої розраховується потенціал, і черговою точкою виміру P_i ;

ξ – параметр, значення якого вибирається залежно від виду функції апроксимації. Чим складніше вид функції, тим швидше повинен убувати потенціал $u(P, P_{n+1})$.

Рекурентна процедура (4.1) може бути також представлена у вигляді апроксимуючого полінома:

$$f(p) = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot r_i \cdot u(P, P_i). \quad (4.4)$$

В цьому випадку, вираз (4.2) подібне (4.4), в якому використовується вагова функція W_i .

Аналіз роботи алгоритму показав що у більшості випадків вибір виду потенційної функції (4.3) не має великого значення для роботи рекурентної процедури (1.60), якщо виконуються наступні умови:

потенційна функція є досить гладкою, убиваючою;

вона повинна допускати можливість варіювання крутизни в досить широких межах за рахунок параметра ξ .

Вибір значення параметра ξ здійснюється експериментально. Для перевірки працездатності методу був проведений машинний експеримент, суть якого полягала в розрахунку ПДВ в ЛОО. Оброблялися три точки, виміряні значення в яких були 10, 30 і 80 рад/год. Відстань від них до точки інтерполяції складала, в першому випадку 0,1, 1,2, 2,8 км, в другому – 0,5, 1,2, 2,8 км і в третьому – 1,0, 1,2, 2,8 км відповідно.

Як потенційна функція використовувалися:

експонента $U = \exp(-\xi r^2)$, $\xi = 0,8$, $a = 1$;

гілка гіперболи $U = \frac{1}{\xi r + 1}$, $\xi =$, $a = 0,3$;

тригонометрична функція $U = \frac{2 \arccotg(\xi r)}{\pi}$, $\xi = 0,01$, $a = 0,05$.

Результати експерименту приведені в таблицю. 4.1.

Таблиця 4.1 Результати інтерполяції потужності дози випромінювання у локально-однорідній області

№ з/п	Метод лінійної оптимальної інтерполяції	Метод інтерполюючого полінома з використанням потенційної функції		
		експоненціальною	гіперболічною	тригонометричною
1	10,69	12,79	13,61	12,84
2	11,25	15,89	14,11	13,04
3	15,44	16,26	14,36	13,28

Як видно з приведеної таблиці, переважним є використання тих потенційних функцій, які мають ширші можливості зміни нахилу свого графіку.

Таким чином, збіг виду потенційної функції (4.3) з виявленою кореляційною, а також виводів відносно її поведінки на різних вибірках вимірювань свідчить про вірний підхід до визначення вагової функції інтерполюючого полінома.

4.2. Уточнення прогнозу радіоактивного забруднення місцевості в динаміці формування сліду

Питання уточнення прогнозу під час формування слідів радіоактивних хмар розглядалися в роботі [7]. Суть методу полягала в спостереженні за траєкторією руху радіоактивної хмари і подальшому використанні отриманої інформації для корекції прогнозу. Такий підхід дозволяє уточнювати прогноз РЗМ ще до закінчення випадання продуктів ядерній реакції.

Проте, для реалізації цієї методики на практиці потрібний спеціальний комплекс технічних засобів, який сьогодні відсутній. Інший підхід, розроблений в [21], припускає для уточнення прогнозу РЗМ використати інформацію про динаміку випадання радіоактивних продуктів. Така інформація, в принципі, може бути отримана від постів контролю.

Залежність зміни ПДВ місцевості від часу зображена на рис. 4.1.

Розглядаючи процес зміни ПДВ при проходженні радіоактивної хмари, можна виділити три характерні етапи.

Перший етап характеризується плавним наростанням ПДВ (ділянка кривої *ab* на рис. 4.2.). У цей період відбувається інтенсивне випадання продуктів ядерного ділення.

Другий етап характерний тим, що процес спаду ПДВ, обумовлений розпадом продуктів ядерного ділення, переважає над процесом випадання радіонуклідів (відрізок *bc*).

На третьому етапі (ділянка кривої *cd*) випадання радіоактивних речовин завершилося, і зміна ПДВ викликана тільки процесами радіоактивного розпаду.

Таким чином, точка *a* (рис. 4.1) є моментом виявлення початку радіоактивного забруднення і характеризується початковим значенням ПДВ $\dot{P}_n$ і часом початку забруднення t_n . Точка *b* показує максимальну потужність дози випромінювання $\dot{P}_{\max}$ у момент часу $t_{\max}$. У точці *z* (закінчення прямолінійної

ділянки кривою) закінчується випадання радіоактивних продуктів. При цьому значення ПДВ складає $\dot{P}_k$ на момент часу t_k .

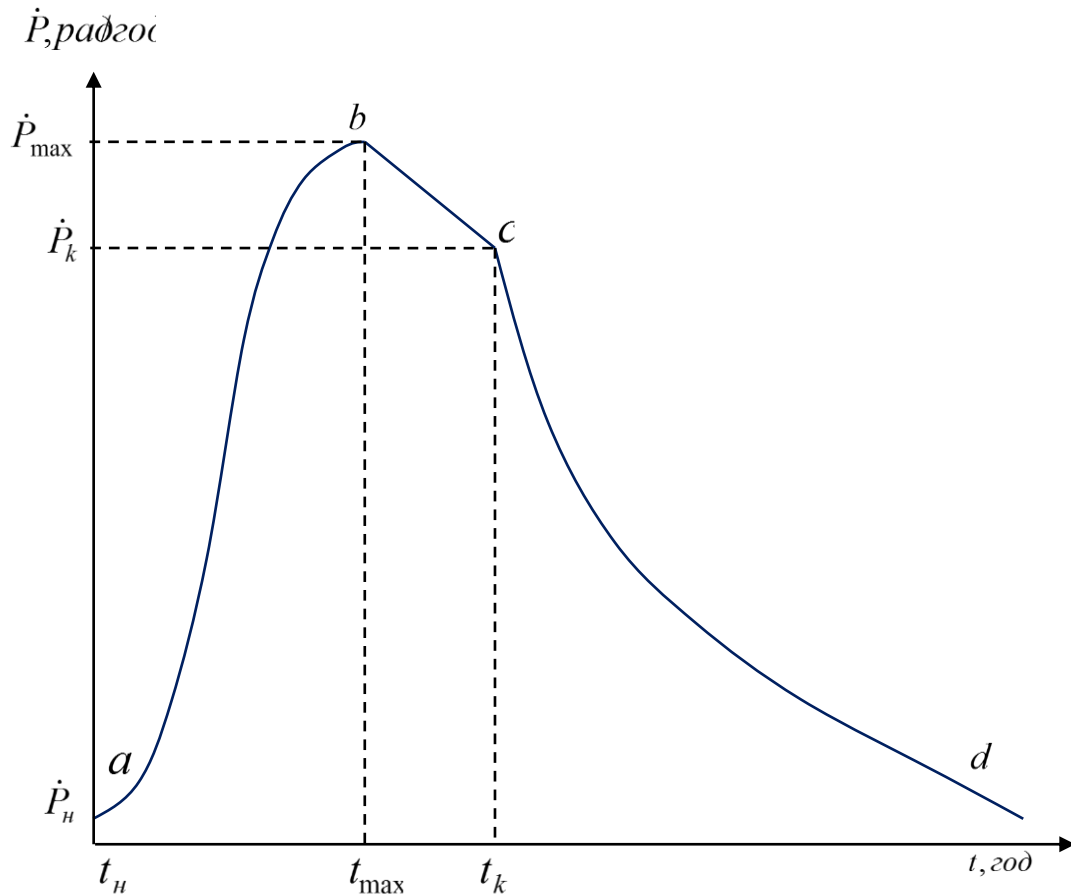


Рис. 4.1. Динаміка зміни потужності дози випромінювання на місцевості при проходженні радіоактивної хмари

Було показано, що динаміка випадання радіоактивних осадів залежить від потужності осередка радіоактивного забруднення і швидкості руху хмари. Виходячи з цього в роботі були отримані наступні формули:

$$\begin{cases} \frac{x}{v} = \frac{T_{\max} - T_n + 0,06 - 0,03 \cdot \lg(q)}{0,4 + 0,3 \cdot \lg(q)}; \\ k = \frac{1}{a_1 / \exp(\lg(x/v)) + a_2 \lg^2(x/v) + a_3 \exp(\lg(x/v)) + a_4 \lg(x/v) + a_5} \end{cases}, \quad (4.5)$$

$$\begin{cases} a_1 = \ln[5.1776 / \exp(\lg(q)) + 4.6368 \cdot 10^{-2} \cdot \lg^2(q) + 2.6723 \cdot \ln(\lg(q)) + 9.2489 \cdot 10^{-1} \cdot \lg(q)] \\ a_2 = \exp[2.0849 \cdot 10^{-1} \cdot \lg^2(q) - 2.2092 \cdot 10^{-3} \cdot \exp(\lg(q)) + 7.1944 \cdot \ln(\lg(q)) - 3.4517 \cdot \lg(q)] \\ a_3 = 1/[2.9026 \cdot 10^{-1} \cdot \lg^2(q) - 3.7718 \cdot 10^{-3} \cdot \exp(\lg(q)) + 8.5331 \cdot \ln(\lg(q)) - 4.3534 \cdot \lg(q)] \\ a_4 = 1/[-2.3754 \cdot 10^{-1} \cdot \lg^2(q) + 2.7431 \cdot 10^{-3} \cdot \exp(\lg(q)) - 7.1150 \cdot \ln(\lg(q)) + 3.6069 \cdot \lg(q)] \\ a_5 = \exp[-6.1276 / \exp(\lg(q)) + 3.7814 \cdot 10^{-3} \cdot \lg^2(q) - 1.0494 \cdot 10^{-3} \cdot \exp(\lg(q)) + 2.1703 / \lg(q)] \end{cases}, \quad (4.6)$$

де x – відстань від осередка радіоактивного забруднення до поста контролю уздовж осі сліду, км;

v - швидкість середнього вітру, км/год;

$T_{\max}$, T_n – астрономічний час досягнення максимуму ПДВ і начала випадання радіоактивних осадів, год;

$$k = \left(\frac{P_{\max}}{t_{\max} - t_n} \right) / \left(\frac{P_{\max}}{t_k - t_{\max}} \right); \quad (4.7)$$

q – потужність осередка радіоактивного забруднення.

Таким чином, зафіксувавши динаміку випадання радіоактивних осадів і використовуючи залежності (4.6-4.7), є принципова можливість визначення потужності осередка (q) і часу, що пройшов з моменту викиду до досягнення максимального значення ПДВ в точці спостереження (x/v).

Оскільки практичне визначення точки c (рис. 4.1) викликає труднощі, було показано, що запропонована методика працездатна при заміні в вихідних даних (P_k, t_k) на $(P_i, t_i) \in]b, c]$, якщо $t_i \geq 0,2462 \cdot (t_{\max} - t_n)$.

У основу розробленого математичного апарату були покладені наступні залежності:

$$t_n = [0,6 + 0,1 \cdot \lg(q)] \frac{x}{v}; \quad (4.8)$$

$$t_{\max} = 0,03 \cdot \lg(q) + [1 + 0,13 \cdot \lg(q)] \frac{x}{v} - 0,06; \quad (4.9)$$

$$t_k = 0,2 + [1,3 + 0,1 \cdot \lg(q)] \frac{x}{v}; \quad (4.10)$$

$$P_{\max} = 1.44 \cdot q^{-0.44} \cdot P_{\kappa}; \quad (4.11)$$

$$P_{\kappa} = P_1 \cdot t_{\kappa}^{-n}, \quad (4.12)$$

де P_1 - потужність дози випромінювання в точці спостереження на одну годину після викиду, рад/год;

$n = 0,938 + 2,026 \cdot 10^{-4} \cdot t^{2,368}$ – коефіцієнт спаду ПДВ.

Неважко помітити, що в наведених формулах (4.8-4.10), час початку, закінчення випадання радіоактивних продуктів і досягнення максимуму ПДВ, тобто динаміка формування сліду, залежить від логарифма потужності осередка радіоактивного забруднення. Аналогічна тенденція зберігається і у формулах (1.65-1.67). Це означає, що дана методика дуже чутлива до вимірюваних величин динаміки формування РЗМ. Так, похибка визначення часу 0,01-0,02 години (36-72 с) викликає зміну величини коефіцієнта k (1.67) на 0,07-0,22 одиниць, тоді як його відхилення на 0,02 може привести до похибки розрахунку потужності викиду в сотні разів. Це накладає жорсткі вимоги до визначення параметрів випадіння радіоактивних осадів. В роботі не проводилися дослідження працездатності методики при різних похибках визначення вимірюваних технічними засобами величин. Проведення такої роботи представляється особливо важливою у зв'язку з тим, що дозиметричні прилади мають істотну похибку виміру ПДВ, яка у свою чергу теж здійснює вплив на результат.

Дана методика уточнення прогнозу РЗМ також може використовуватися при накладенні слідів радіоактивних хмар. Проте це можливо якщо випадання радіоактивних осадів від подальшого викиду почалося не раніше того, як закінчилося формування сліду попереднього викиду (рис. 4.2 а). У разі приходу хмари другого викиду у момент інтенсивного випадання радіоактивних осадів від першого (рис.4.2с) або навіть під час закінчення формування сліду попереднього викиду (рис. 4.2b), методика застосовуватися не може. Це накладає істотні обмеження на використання даного математичного апарату.

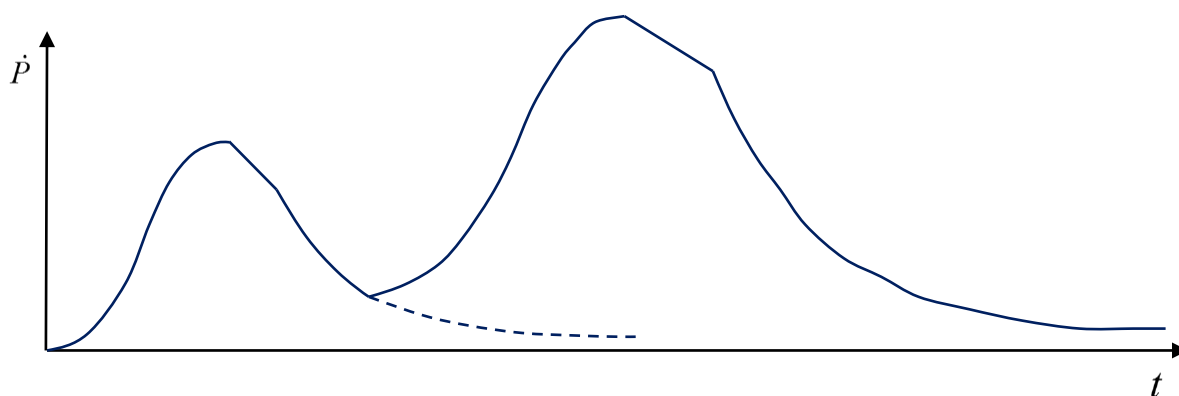


рис. 4.2а

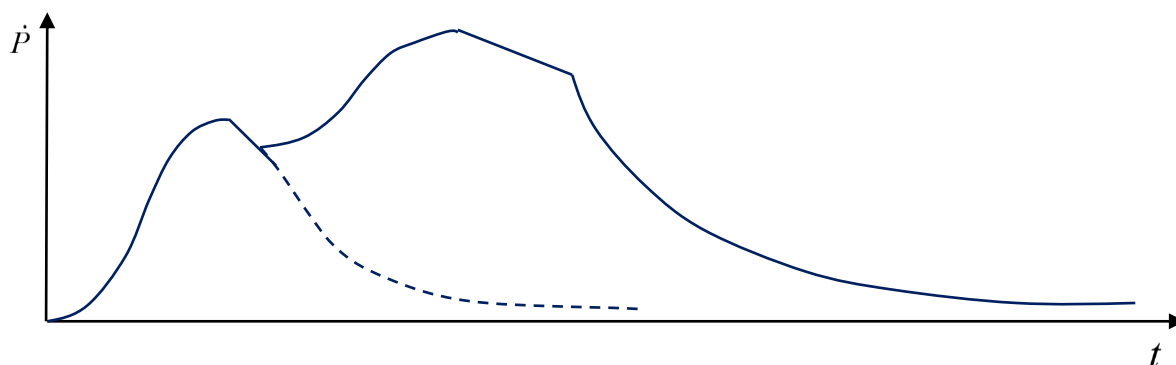


рис. 4.2 б

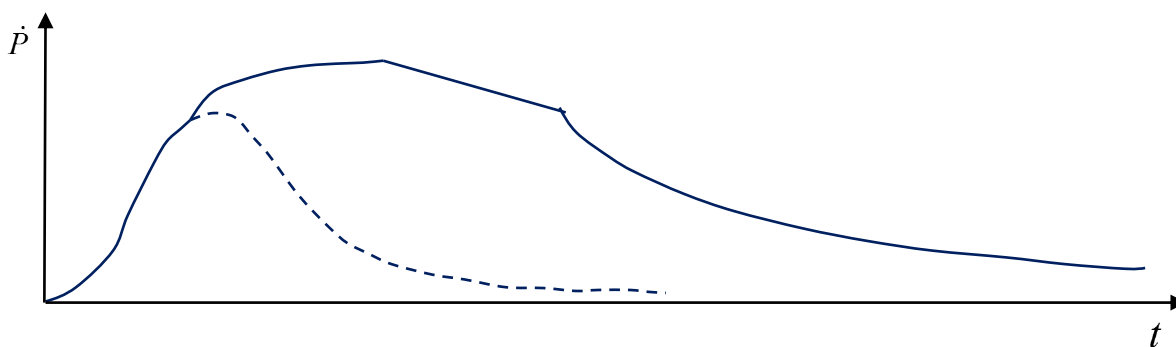


рис. 4.2 с

Рис. 4.2. Можливі варіанти динаміки формування радіоактивного забруднення місцевості в точці при накладенні радіоактивних слідів

Таким чином, розглянута методика уточнення прогнозу на основі цих постів контролю, отриманих в динаміці формування РЗМ, може бути використана на окремих етапах виявлення радіаційної обстановки, проте для цього потрібні спеціальні технічні засоби радіаційної розвідки, що дозволяють фіксувати час характерних змін величини потужності дози випромінювання з незначними погрешностями.

4.3. Можливі напрями розвитку спеціального математичного і програмного забезпечення завдань обробки даних радіаційної розвідки

Одним з перспективних шляхів вдосконалення спеціального математичного і програмного забезпечення (СМПЗ) рішення задачі виявлення радіаційної обстановки за даними радіаційної розвідки є виявлення структурної інформації про поле РЗМ і використання її для уточнення параметрів прогностичної моделі. Можливість реалізації такого підходу розглядалася в роботах [7, 10, 41]. Один з окремих випадків корекції прогнозу, здійснений з використанням цього методу, розглянутий в п.1.3.2. Проте застосований метод стохастичної апроксимації не аналізував інформаційну ситуацію, не враховував кореляцію між точками вимірювань, що не могло привести до однозначних рішень для декількох осередків РЗМ при недостатній щільності вихідних даних [43].

Слід зауважити, що при малій щільності точок вимірювань ПДВ по району в цілому, вони можуть групуватися в окремі компактні множини, щільність усередині яких може бути близька або навіть вище за нормативну. При цьому компактною називається така множина топологічного простору X , що кожна нескінченна послідовність $\{x_i, i \in \mathbb{Z}\}$ містить підпослідовність, що сходиться до деякої точки x_0 області X [61].

Аналіз різних інформаційних ситуацій показав [8] принципову можливість уточнення структурної інформації про поле РЗМ на основі обробки цих компактних вибірок вимірювань ПДВ шляхом визначення напрямів градієнтів поля (рис. 4.3).

Так, у разі ведення радіаційної розвідки (спостереження) в районі осередка РЗМ (рис.4.3а) є принципова можливість визначення координат осередка радіоактивного забруднення. Це положення може бути використане для виявлення місць падіння літальних апаратів з ядерною енергетичною установкою, а також визначення місць здійснення диверсійних (терористичних) актів.

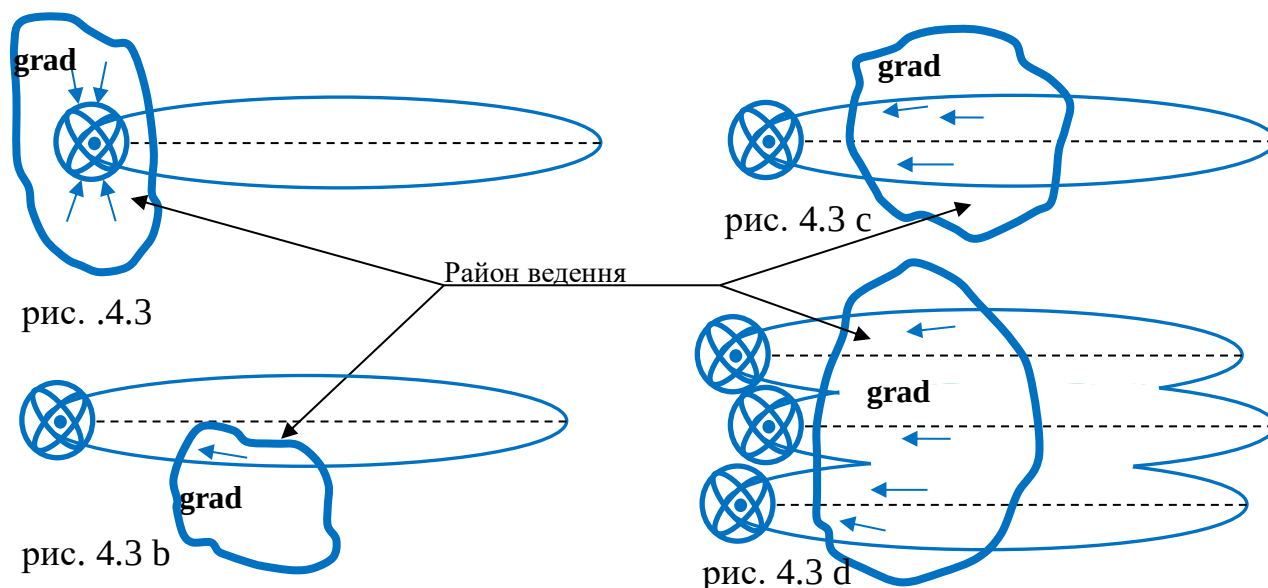


Рис.4.3. Можливі інформаційні ситуації при виявленні структурної інформації про поле радіоактивного забруднення місцевості

Якщо радіаційна розвідка велася в районі, який частково знаходиться на сліді і не захоплює вісь (рис.4.3b), то по напрямках градієнтів можливе визначення координат осередка радіоактивного забруднення, оскільки значення функції ПДВ в цій точці максимально.

У тому випадку, якщо район ведення розвідки включає вісь сліду (рис.4.3c), з'являється можливість виявлення іншої інформації про структуру поля, пов'язану з орієнтацією сліду. Аналіз градієнтів поля ПДВ може дозволити виявити положення осі, яка, у свою чергу, характеризує напрям вітру у момент формування РЗМ.

Розглянуті варіанти інформаційних ситуацій дозволять виявити структурну інформацію про поле РЗМ, якщо дані радіаційної розвідки отримані на поодинокому сліді радіоактивної хмари. Якщо ж сталося накладення слідів від декількох осередків (рис.4.3d), то виявлення даних про структуру поля стає практично неможливим.

Наведені вище міркування справедливі тільки у тому випадку, якщо топологія поля РЗМ близька до модельної.

У дисертаційному дослідженні запропонована ідея алгоритму послідовної параметричної адаптації (ППА) прогностичних моделей даними радіаційної розвідки.

Такий алгоритм може застосовуватися за наступних умов:

- щільність точок контролю недостатня для відтворення топології поля забруднення в заданому районі;
- вимірювання потужності дози згруповані в компактні множини;
- формування поля забруднення в заданому районі практично завершене.

На першому етапі робиться оцінка можливості застосування алгоритму ППА. Це може здійснюватися шляхом аналізу вибірки вимірювань на компактність, щільність точок контролю і оцінки часу закінчення формування РЗМ.

Другий етап полягає в локальній оптимізації параметрів прогностичної моделі за структурною інформацією, виділеною з компактних вибірок вимірювань. Така оптимізація повинна привести до збільшення ступеня узгодження моделі відносно фактичних даних на окремих фрагментах зображень.

І нарешті, на завершальному етапі знаходяться такі значення параметрів прогностичної моделі, при яких ступінь узгодження обчислених значень ПДВ і виміряних, була б максимальною в цілому по району виявлення радіаційної обстановки.

Такий алгоритм може застосовуватися неодноразово, по мірі надходження даних радіаційної розвідки.

Аналіз сфери застосування даних методів показав, що деякі з них, зокрема МЛОІ і локальна оптимізація на фрагментах поля, можуть бути використані, з умовою дотримання деяких умов, не лише на сформованих полях, але навіть в процесі радіоактивних опадів.

Таким чином, на теперішній час розроблений ряд методів опису поля РЗМ, використання яких, за певних умов, дає задовільні результати. Вибір того або іншого методу залежить від наявних вихідних даних, топології поля РЗМ і ряду

інших факторів. У роботі розроблена концептуальна модель обробки даних радіаційної розвідки (Таблиця.4.2).

Таблиця 4.2. Концептуальна модель обробки даних про радіоактивне забруднення місцевості

Умови		Методи обробки вихідних даних		Способи графічного відображення	Методи рішення завдань за оцінкою РО				
Слід сформований	Слід не сформований	Виявлення структурної інформації на фрагментах поля		За первинними даними	За уточненим прогнозом РЗМ				
		Уточнення потужності викиду осередка для запроектних аварій							
		Послідовна параметрична адаптація моделі в динаміці формування сліду							
	Щільність точок контролю	нижче достатньої	Послідовна параметрична адаптація моделі на сформованих слідах			моделювання радіоактивного забруднення місцевості			
			Послідовна параметрична адаптація моделі за наявності компактних множин						
			“Бустреп”-метод						
		достатня	Лінійна оптимальна інтерполяція з урахуванням апріорних даних				По сітці		
			Лінійна оптимальна інтерполяція						
			Лінійна оптимальна інтерполяція з урахуванням апріорних даних						
			Стохастична апроксимація					По функціональним залежностям	
			Сплайн-інтерполяція						
			Лінійна інтерполяція						
вище за достатню			По цифровому зображенню поля РЗМ						
				За фактичними даними					

Аналіз методів, застосування яких оптимальне в тій або іншій ситуації, показує, що на цьому етапі добре розроблені способи обробки інформації при достатній повноті даних розвідки. Тоді як методи, що використовуються при низькій щільності точок контролю (на схемі виділені курсивом), сформульовані на рівні ідей і вимагають детальної розробки. Виявлення РЗМ за допомогою малих вибірок засноване на адаптації прогностичної моделі даними радіаційної розвідки. З рис. 1.5 видно, що для цих цілей передбачається використати метод послідовної параметричної адаптації в різних модифікаціях. Розвиток такого методу є актуальним науково-технічним завданням.

Крім того, методики, що розробляються, повинні враховувати особливості майбутньої ЄДАСКРО України. До них відноситься [44-47] наявність не лише стаціонарних автоматизованих систем контролю радіаційної обстановки, що складаються з постів радіаційного контролю і АСКРО радіаційно небезпечних об'єктів, але і пересувних комплексів оперативного контролю РО.

Отже, в таких системах з'являється можливість отримання тимчасових зрізів ПДВ шляхом опитування стаціонарних датчиків, а також проведення багатократних вимірювань в місцях їх розташування. Представляється логічним використати додаткові можливості, наявними у АСКРО, для виявлення РЗМ за даними радіаційної розвідки.

4.4. Графічне відображення результатів виявлення радіоактивного забруднення місцевості

В ході рішення завдань виявлення і оцінки РО, стає актуальним питання про видачу результатів роботи. При цьому документи можуть бути оформлені у вигляді формалізованих (чи неформалізованих) довідок, а також представлені в графічному вигляді. Залежно від обстановки можуть знадобитися різні графічні документи, що відображають:

- прогноз РЗМ;
- фактичне РЗМ, яке виявлене за даними радіаційної розвідки;

- ізоляції ПДВ на різний час;
- райони, дози випромінювання, в яких за певний час перевищать задані та інші.

Слід зауважити, що виявлення районів із заданими дозами або втратами та інші завдання подібного роду зводяться до прогнозу ізоляцій на певний розрахований час.

Таким чином, завдання графічного відображення РЗМ можна сформулювати таким чином:

- відображення ізоляцій ПДВ на заданий час за прогнозом (уточненому прогнозу);
- відображення ізоляцій ПДВ на заданий час за фактичними даними радіаційної розвідки.

Питання графічного відображення прогнозу РЗМ розглядалися в роботі [21], а виявленого за даними розвідки в [43]. У цих роботах дане завдання було вирішене. Проте, поява нових технічних засобів відображення інформації, таких, що отримали масове поширення і мають розширені можливості, вимагає певних уточнень в алгоритмах відображення графічної інформації. Існуючі відеоадаптери дозволяють виводити інформацію у вигляді ліній, за наявності відповідного програмного забезпечення підтримують електронну карту, мають широкі можливості використання колірної гамми. Отже, відпадає необхідність відображати інформацію про ізоляції ПДВ у вигляді буквених символів. Результати рішення можуть бути представлені користувачеві в звичному для нього вигляді, як на робочій карті.

У разі відображення прогнозу РЗМ (уточненого прогнозу) завдання зводиться до зображення геометричної фігури, зокрема, еліпса, з відомими великою і малою осями, певним чином орієнтованого на площини і такого, що має відповідний колір. Рішення такої задачі на мовах програмування високого рівня не викликає складнощів. Проте, в АСКРО (АСУ) передбачено, як правило, документування інформації, яка виводиться на принтер, плотер або інше облаштування подібного типу.

При відображенні результатів, виявлених за даними розвідки, завдання зводиться до побудови ліній рівня цифрового зображення. Таке завдання було вирішене. Проте вона матиме свої особливості при роботі з облаштуваннями векторного і растрового типу.

Розглянемо методики відображення інформації, отриманої на основі обробки даних радіаційної розвідки на пристрої векторного типу. В цьому випадку, необхідно побудувати ізолінії рівня цифрового зображення регулярної структури, тобто відрізки прямих із заданими координатами.

У тому випадку, якщо зображення будується за прогнозом, геометрична фігура (еліпс) замінюється її фрагментно-лінійним наближенням. Це стандартний шлях рішення подібних завдань.

Трохи інакше йде справа з облаштуваннями растрового типу. Навіть при заміні геометричної фігури на фрагментно-лінійний образ, все одно, залишається завдання отримання растрового образу або образу на цілочисельній решітці. Таким чином, якщо відомі координати кінців відрізка, необхідно визначити, які точки растру належить послідовно ініціалізувати, щоб отримати повне представлення відрізка. Це завдання вирішується по-різному. В якості рішення можна запропонувати алгоритм Брезенхема [49=51]. Результати роботи такого алгоритму представлені на рис. 4.4.

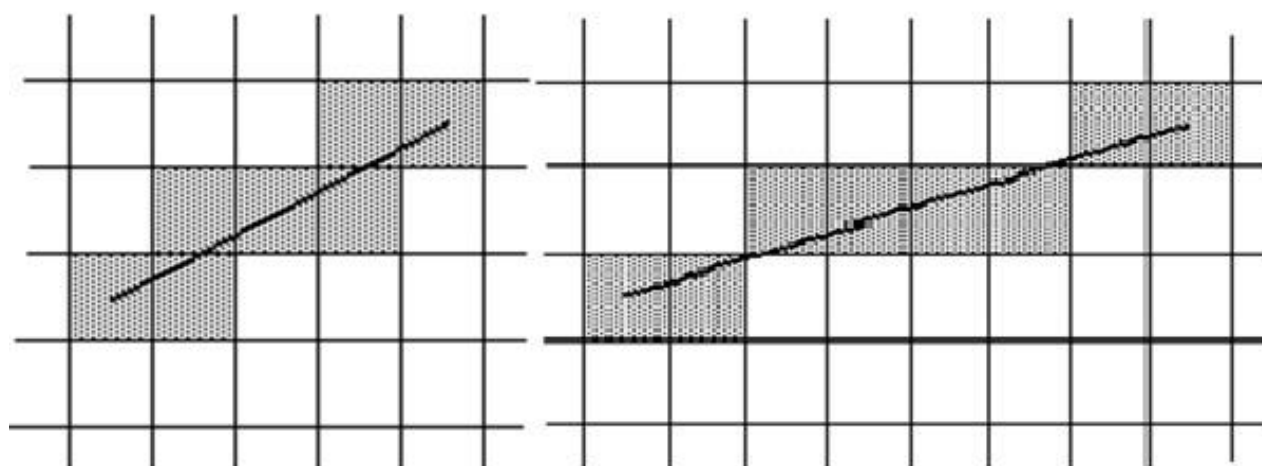


Рис.4.4. Растрова розгортка відрізка по алгоритму Брезенхема

При цьому, реалізація може бути здійснена чотирьохзв'язною (рис.4.4) і вісьмизв'язною (рис.4.4) розгорткою. Нехай є відрізок, що відображається, з координатами кінців (x_1, y_1) і (x_2, y_2) . Тоді відрізок визначається рівнянням:

$$y = y_1 + k(x - x_1) \quad (4.13)$$

$$\text{де } k = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}, \quad x_1 \leq x \leq x_2$$

Суть роботи алгоритму полягає в отриманні чергової точки на відрізку і ініціалізації найближчого до неї пікселя. Таким чином, завдання графічного відображення результатів виявлення РЗМ, вирішена в [43], може бути використана для роботи на сучасних технічних засобах відображення інформації, за умови введення коректив, що враховують рівень розвитку технічних засобів автоматизації.

4.5. Шляхи удосконалення інформаційних технологій підтримки прийняття рішень при виникненні радіаційного зараження

Війна РФ проти України спонукала до об'єктивного оцінювання існуючих мереж зв'язку і систем командування, налаштованих за нормами концепції C4ISR, що означає “Command and Control, Computers, Communications, Intelligence – Surveillance – Reconnaissance” (Командування і контроль, Зв'язок, Комп'ютеризація, Розвідка – Спостереження – Рекогносцировка) та являє собою інтегрований підхід до керування й координації військових операцій у сучасних війнах.

17 вересня 2021 року Указом Президента України № 473/2021 затверджено Стратегічний оборонний бюлетень України, чим забезпечено продовження стійкого розвитку безпеки та обороноздатності нашої держави, у тому числі й з питань подальшого вдосконалення структури об'єднаного керівництва силами оборони та військового управління у Збройних Силах України, яка має здійснюватися відповідно до передового досвіду, принципів і стандартів

Північноатлантичного блоку. По суті, на порядку денному залишилися завдання інноваційної, оптимальної та адаптованої до умов війни з РФ розбудови гнучких автоматизованих систем управління, що використовують технологію C4ISR, та її варіації.

Так, серед заходів означеного спрямування визначено: побудова Об'єднаної мережі оборони, основу якої становитимуть електронна комунікаційна мережа та інформаційні системи МО України та ЗС України; створення та розвиток мереж операцій, побудованих на сучасних цифрових засобах, якими буде переобладнано польову систему зв'язку ЗС України, розроблення нових (удосконалення існуючих) систем бойового управління; стандартизація, оптимізація та взаємо сумісність інформаційних систем сил оборони; автоматизація процесів управління військами і зброєю, оборонними ресурсами, розвідкою, логістикою, медичним та іншими видами забезпечення, упровадження електронного документообігу, цифровізація документів обліку особового складу; оптимізація системи захисту інформації та кіберзахисту в інформаційно-телекомунікаційних системах МО України та ЗС України; набуття спроможностей системою управління розвідкою ЗС України у трирівневій вертикалі керівництва; реалізація наявних та створення нових спроможностей військових частин (підрозділів) розвідки ЗС України; автоматизація процесів збору і обробки розвідувальних відомостей (даних) та управління силами і засобами розвідки з урахуванням принципів і стандартів НАТО; забезпечення військових частин (підрозділів) розвідки ЗС України новітніми (модернізованими) технічними засобами розвідки.

Як можна пересвідчитися, практична ефективна і результативна реалізація вище перерахованих заходів безпосередньо та опосередковано залежить від технологічної якості побудови гнучких автоматизованих систем управління та їх фахового оптимального, адаптованого й продуктивного застосування в середовищі бойових дій[52]. За таких умов, варто зазначити, C4ISR – це система оперативного (бойового) управління, зв'язку, розвідки та спостереження, що діє за стандартами військового керування НАТО, яка дозволяє досягти

інформаційної переваги над ворогом і трансформується в бойову могутність завдяки поєднанню роботи підрозділів й усіх розвідувальних спроможностей в єдиний цифровий дієвий простір[53].

На практиці, технологічною основою системи оперативного (бойового) управління, зв'язку, розвідки та спостереження або її модифікацій є реалізація доктрини, так званої, мережецентричної війни, а по суті, поєднання джерел інформації в одну прозору дигіталізовану систему. За таких умов, швидкість прийняття поінформованих і зважених рішень командирами під час бойових операцій зростає у рази. До того ж така система дозволяє зберігати керованість навіть у випадку знищення пунктів управління.

Отже, знання концепцій, форм і способів бойових дій у сучасних війнах, зокрема, з урахуванням досвіду відсічі й стримування збройної агресії РФ в Україні, а також дослідження нових військових доктрин, свідчить про посилення значимості гнучкої автоматизації процесів управління в країнах світу з розвиненою воєнною сферою. В цьому контексті інформаційні війни набули стратегічного значення і перебувають в центрі уваги національних стратегій. Пріоритетом стає здобуття інформаційної переваги над противником, що втілюється через використання передових технологій для створення систем спеціального призначення, здатних поєднувати процеси добування (збору), обробки, аналізу (відображення) та доведення інформації з необхідним рівнем автоматизації.

Відповідно до засад внутрішньої і зовнішньої політики України, з урахуванням характеру актуальних загроз національній безпеці, а також велику ймовірність застосування у війні з боку противника зброї масового ураження, одним із основних завдань є готовність сил оборони України до дій в умовах радіаційного забруднення [46]. Наявність зазначених загроз, вимагає створення системи попередження й оповіщення військ про радіаційну небезпеку, яка повинна оперативно забезпечувати органи управління інформацією про радіаційну обстановку [47] та виконувати функції інформаційної технології

підтримки прийняття рішень органом управління в умовах радіаційного забруднення місцевості.

Як було встановлено, ефективність функціонування існуючих інформаційних технологій потребує її підвищення. Зазначене можливо здійснити шляхом удосконалення існуючої інформаційної технології підтримки прийняття рішень органом управління, функціонування якої ґрунтується на роботі з таблицями, математичними моделями та графічними базами даних (рис. 4.5).

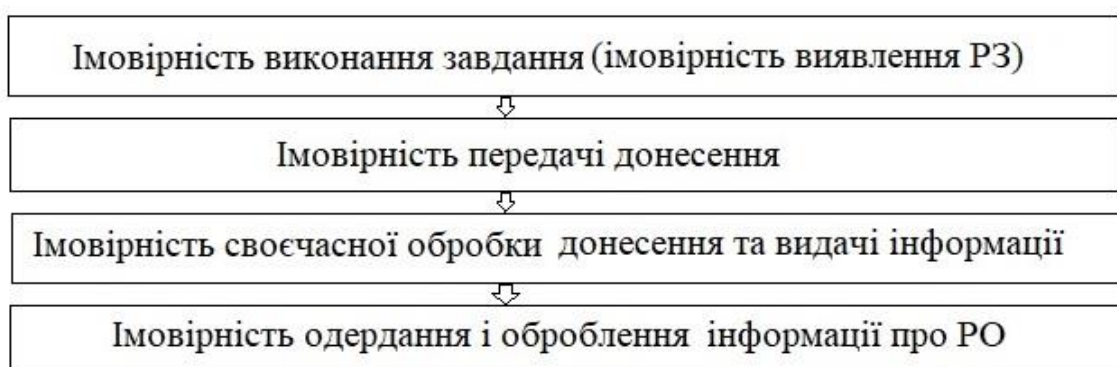


Рисунок 4.5. Існуюча інформаційна технологія підтримки прийняття рішень органом управління

Таким чином, головним завданням перспективної системи (рис. 4.6.) має стати постійний моніторинг в режимі реального часу з метою оцінки радіаційної обстановки з паралельною підтримкою ефективних управлінських рішень, що мінімізують людські втрати, що потребує створення розгалуженого комплексу математичних моделей, інтегрованих в систему підтримки прийняття рішень на всіх етапах.

Використання технічних засобів в управлінській діяльності, само по собі не вирішує проблеми ефективності управління. Ця проблема може бути успішно вирішена тільки комплексно[54],. У тих випадках, коли окремо розробляються технічні засоби, а потім вони починають пристосовуватися до існуючих структур управління, форм, методів та способів роботи, переліку та змісту документів значного удосконалення управління, підвищення його ефективності досягнути в короткі терміни не вдається. Ця теза повністю

відноситься і до інформаційних технологій підтримки прийняття рішень при виникненні радіаційного зараження.



Рисунок 4.6. Удосконалена інформаційна технологія підтримки прийняття рішень органом управління

Вирішення даного завдання передбачається в удосконаленні інформаційних технологій, що дозволило б на базі існуючих та перспективних засобів автоматизації управління здійснювати оптимальне управління добуванням, збором, обробкою та передачею інформації про радіаційну обстановку, застосовувати сучасний науковий апарат для обробки великих масивів інформації, проводити оперативно-тактичні розрахунки та моделювання в процесі підготовки та обґрунтування пропозицій, а також забезпечувати достовірною інформацією посадових осіб органу управління в формі та обсязі, який би найбільш повно забезпечував їх роботу та об'єднував інформаційно-аналітичну і творчу діяльність в єдиний процес.

Результати проведеного дослідження дозволили: по-перше, виявити слабкі місця в функціонуванні інформаційної технології підтримки прийняття рішень; по-друге, визначити шляхи підвищення ефективності функціонування інформаційних технологій на підставі нових організаційно-технічних принципів, до яких необхідно віднести[54]:

удосконалення технічної бази органів управління щодо збору, обробки та обміну інформацією про радіаційну обстановку;

автоматизацію роботи органу управління щодо збору, обробки та обміну інформацією про радіаційну обстановку.

Завдання підвищення інформаційних технологій обумовлене протиріччям між різким зростанням вимог до управління та неможливістю виконання цих вимог у рамках існуючої технічної оснащеності та встановлених методів роботи.

Результати дослідження переконливо свідчать про те, що рекомендації щодо підвищення ефективності інформаційних технологій повинні мати комплексний характер і розглядатися у тісному взаємозв'язку та взаємозалежності з етапами циклу управління[55],

4.6. Рекомендації щодо підвищення ефективності інформаційних технологій за рахунок удосконалення технічної бази

Значний вплив на ефективність функціонування інформаційних технологій здійснюють характеристика джерел інформації, а також способи використання засобів радіаційної розвідки. Розглянемо можливі способи застосування джерел інформації про радіаційну обстановку – засоби мобільної радіаційної розвідки та автоматичні датчики.

Як відомо, інформація про радіаційну обстановку добувається різними засобами радіаційної розвідки. Проте, для оперативного та якісного вирішення задач управління, таких як здійснення маневру силами та засобами і відновлення порушеної системи, виникає необхідність включення до розвідувальних підрозділів повітряних мобільних засобів (безпілотних літальних апаратів), які обладнані засобами візуальної, телевізійної та зокрема радіаційної розвідки. Для своєчасного забезпечення інформацією про радіаційну обстановку необхідно мати 1-2 БПЛА для патрулювання та розвідки району радіаційного забруднення. Цінність отриманої із зазначених джерел інформації, при вирішенні задач управління, зростає порівняно з інформацією, що отримана наземними засобами розвідки.

За результатами оцінювання необхідної кількості засобів розвідки виникає необхідність обґрунтування мережі автоматичних дистанційних засобів радіаційної розвідки (датчиків). Для обґрунтування щільності розташування автоматичних датчиків фіксації параметрів радіаційного зараження необхідно враховувати: можливість фіксації параметрів радіаційного зараження у життєво важливих точках об'єктів; наявність засобів зв'язку; вплив напрямку приземного вітру. Враховуючи перелічені вимоги, автоматичні датчики в районах командних пунктів військових частин (підрозділів) та спеціальних військ, як показав досвід військ, необхідно встановлювати при вході у споруди, або в місцях розміщення візуальних радіаційних спостережних постів.

В районах розташування ОКП автоматичні датчики доцільно встановлювати у місцях, які забезпечують максимальне охоплення окремо розташованих елементів. Такими місцями можуть бути: основні споруди ОКП, райони передавального центру та приймального радіоцентру, вузол зв'язку. Необхідно також зазначити, що найбільш ефективним способом застосування дистанційних засобів виявлення радіаційної обстановки є їх розташування на місцевості у вигляді сот, що дає можливість оперативного обстеження великої площі території з залученням мінімальної кількості сил і засобів.

Отже, актуальним питанням є розроблення нових інформаційно-телекомунікаційних технологій, що дозволять дистанційно та оперативно здійснювати радіаційну розвідку місцевості та оцінювати радіаційну обстановку.

Пропонується застосування дистанційних методів спостереження та контролю для оперативного виявлення радіаційної обстановки у випадках екстремально високого зараження приземного шару атмосферного повітря на забрудненій території.

Розроблення технології сенсорного поля радіаційної розвідки місцевості в зоні радіаційного зараження дозволить підвищити ефективність виявлення радіаційної обстановки та відпрацювати питання своєчасного оповіщення про загрозу або виникнення радіаційного зараження.

Основні завдання, які вирішуються для досягнення мети: розробка загальної структурно-функціональної схеми сенсорного поля радіаційної розвідки місцевості; обґрунтування складу датчиків та їх ТТХ для сенсорного поля радіаційної розвідки місцевості; вибір носіїв датчиків та визначення вимог до їх ТТХ для сенсорного поля радіаційної розвідки місцевості; розробка датчика для вимірювання забруднення приземного шару повітря для БПЛА; створення спеціального програмного забезпечення інформаційно-аналітичної системи для збору та відображення інформації з використанням ГІС-технологій та дистанційного зондування Землі про радіаційну обстановку в районі забруднення; розробка мобільної безпроводної сенсорної радіомережі рухомих і стаціонарних постів для вимірювання та передачі оперативної інформації про стан радіаційної обстановки; інтеграція алгоритмів для захисту інформації в системі передачі даних про результати моніторингу параметрів стану радіаційної обстановки.

Необхідно розробити інтелектуальну технологію сенсорного поля радіаційної розвідки, яка базується на застосуванні безпроводних сенсорних мереж (БСМ), мобільних та стаціонарних датчиків та телекомунікаційних аероплатформ (рис. 4.7) для збору і передачі інформації до органу управління для подальшої обробки і прийняття рішень. Така науково-технічна розробка може знайти своє застосування в безпроводних сенсорних мережах, що складаються з компактних сенсорів (датчиків), оснащених безпроводним інтерфейсом (наприклад, стандарту IEEE 802.15.4), що з'єднуються з центром обробки даних через шлюз (координатор) безпосередньо (у зоні прямої радіовидимості) або із ретрансляцією пакетів через проміжні вузли (маршрутизатори).

Ідея технологічного продукту полягає в інтеграції сучасної інтелектуальної сенсорної техніки (датчики виявлення радіаційних забруднень, безпілотні літальні апарати), з сучасними інформаційно-телекомунікаційними технологіями (БСМ, геоінформаційні системи (ГІС) та ін.). Моніторингові датчики повітряного і наземного базування через мережу радіозв'язку забезпечують оперативний дистанційний моніторинг, а геоінформаційні

технології забезпечують візуалізацію і 3D географічну прив'язку отриманої інформації до конкретного району радіаційного забруднення.

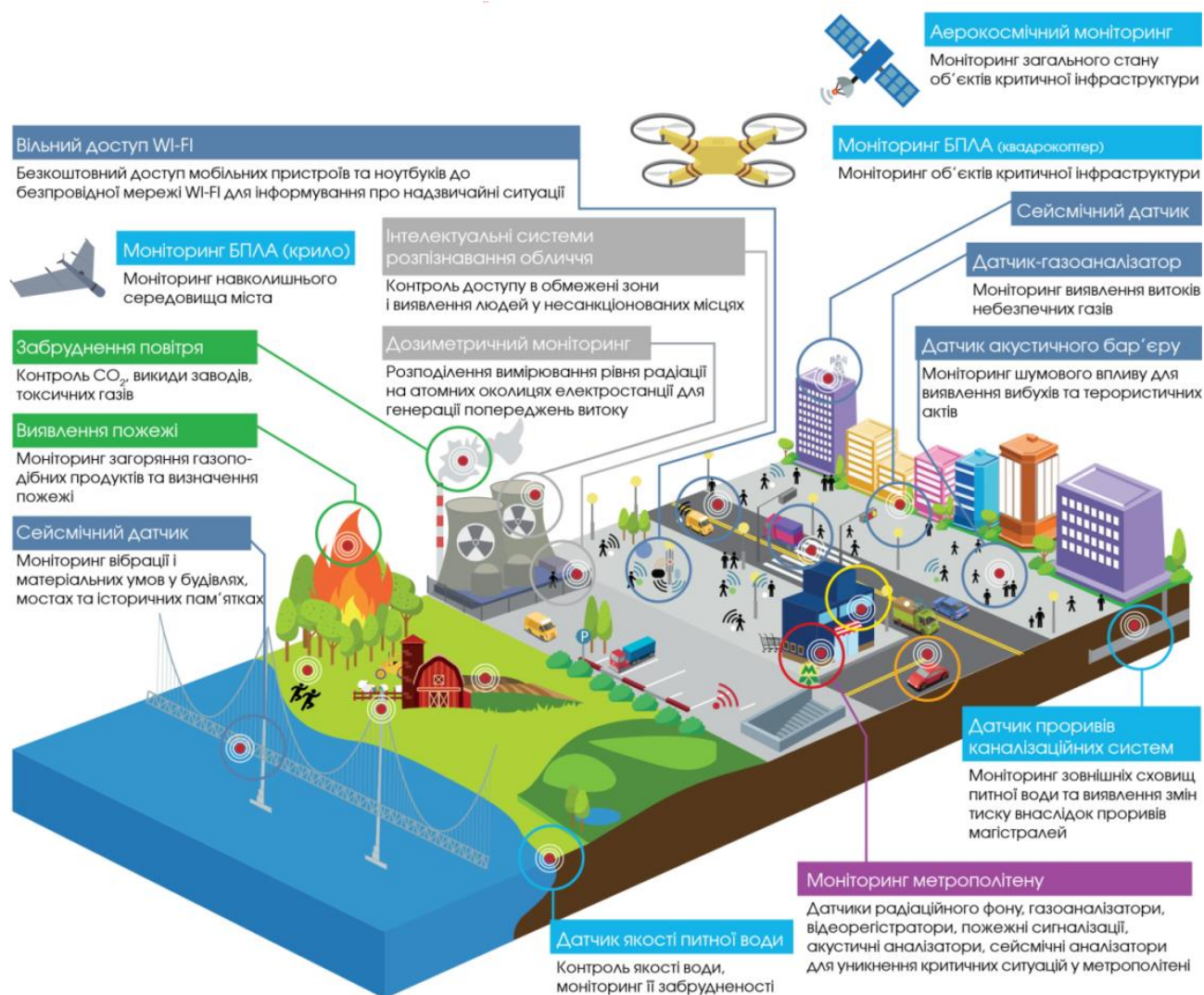


Рисунок 4.7. Сфери застосування безпроводних сенсорних мереж та телекомунікаційних аероплатформ

Технологія сенсорного поля радіаційної розвідки в районі радіаційного забруднення являє собою сукупність технічних рішень побудови БСМ із використанням моніторингово-сигнальних датчиків, безпілотних літальних апаратів і геоінформаційних технологій (рис. 4.8, 49).

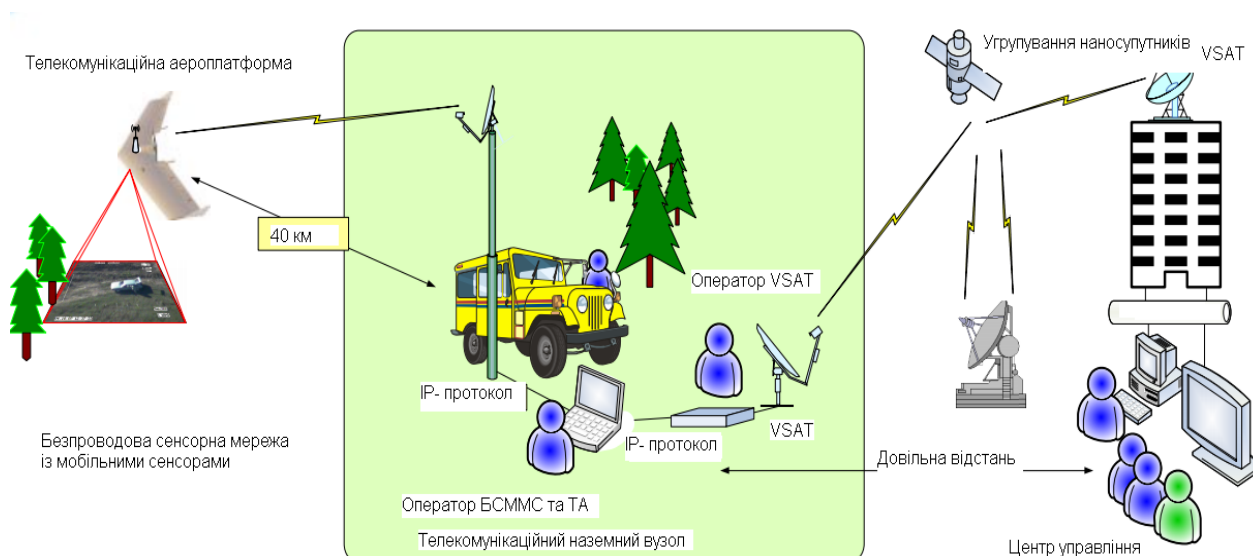


Рисунок 4.8. Схема доставки інформації про РЗ за допомогою дистанційного моніторингу безпроводних сенсорних мереж із мобільними сенсорами на БПЛА через телекомунікаційний наземний вузол

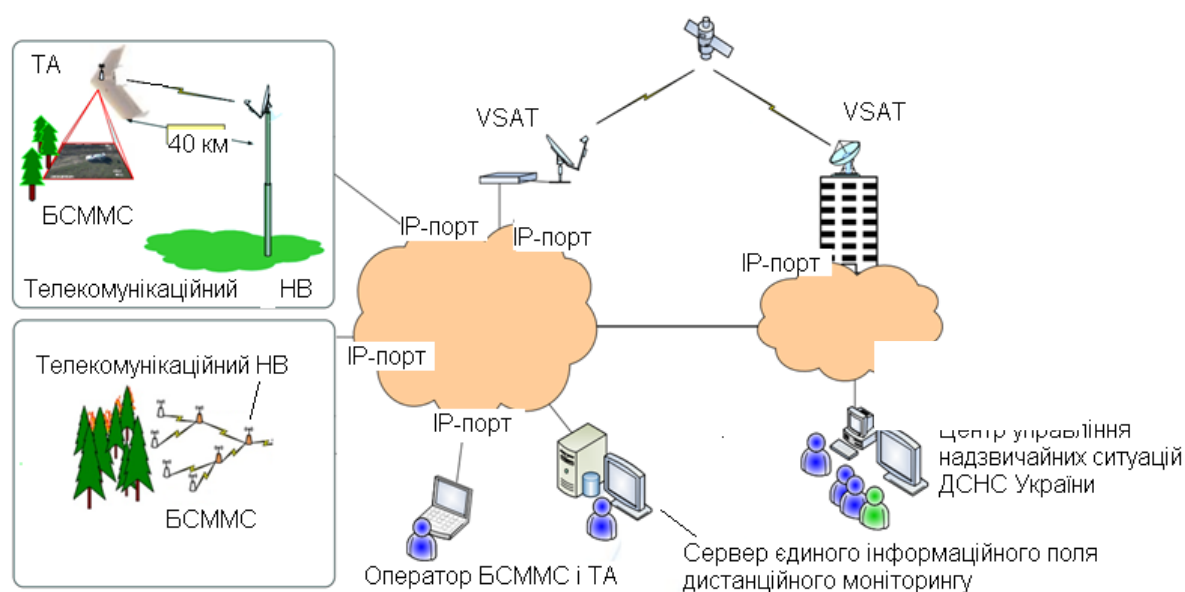


Рисунок 4.9. Інтеграція системи дистанційного моніторингу БСМ із мобільними сенсорами БПЛА, телекомунікаційними наземними вузлами та аероплатформами в єдине інформаційне поле радіаційної розвідки в районі радіаційного забруднення

Комплексні моніторингово-сигнальні датчики-газоаналізатори розробляються з використання газорозрядних лічильників Гейгера, призначених для вимірювань ПДВ в повітрі з цифровою індикацією величини вимірюваних параметрів на рідинно-кристалічному індикаторі (РКІ) (рис. 4.9).

Типовий сенсорний пристрій для вимірювання ПДВ містить такі елементи (рис. 4.10): обчислювальна платформа (наприклад, на основі процесора Cortex), платформа датчика радіаційного зараження, радіо – модуль ZigBee, GPS (Global Positioning System) модуль, GPRS (General Packet Radio Service) модуль, літієва акумуляторна батарея.



Рисунок 4.10. Зображення комплектації інтелектуальних сенсорних пристроїв сенсорного поля моніторингу стану радіаційної обстановки

Датчики працюють циклічно: більшу частину часу вони “сплять”, щоб економити заряд батареї, а через певні проміжки “прокидаються” і протягом однієї хвилини зчитують імпульси, що генеруються газосигналізаторами. Потім порівнюються отриманні значення із заданими пороговими значеннями.

Якщо значення не перевищують поріг, вони передаються за допомогою радіоінтерфейсу через мережу ретрансляторів до шлюзу і зберігаються в базі даних в закритій мережі або в Інтернеті. Якщо значення перевищують визначений поріг безпеки, то як і через радіомережу вони також передаються безпосередньо до центру обробки даних за допомогою SMS повідомлення, використовуючи GPRS інтерфейс, або надсилаються в закриту мережу або в Інтернет через TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol). Інтелектуальний пристрій додає також інформацію про GPS координати (широта, довгота, висота), щоб визначити точне місце розташування джерела забруднення та забезпечити 3D візуалізацію в ГІС.

Таким чином, технологічний продукт дозволяє вирішувати такі важливі проблеми, як дистанційний 3D моніторинг зони спостереження та радіаційної розвідки в районі радіаційного забруднення, оцінку ризиків впливу зараження на

здоров'я особового складу, які дислокуються у зоні радіаційного забруднення, забезпечення інформаційно-телекомунікаційних послуг у районах із зруйнованою або відсутньою інфраструктурою.

Висновки до розділу 4

1. Запропоновано застосування дистанційних методів спостереження та контролю для оперативного виявлення радіаційної обстановки у випадках екстремально високого зараження приземного шару атмосферного повітря на забрудненій території.

2. Розроблено інтелектуальну технологію сенсорного поля радіаційної розвідки, яка базується на застосуванні безпроводних сенсорних мереж (БСМ), мобільних та стаціонарних датчиків та телекомунікаційних аероплатформ для збору і передачі інформації до органу управління для подальшої обробки і прийняття рішень. Така науково-технічна розробка застосовується в безпроводних сенсорних мережах, що складаються з компактних сенсорів (датчиків), оснащених безпроводним інтерфейсом (наприклад, стандарту IEEE 802.15.4), що з'єднуються з центром обробки даних через шлюз (координатор) безпосередньо (у зоні прямої радіовидимості) або із ретрансляцією пакетів через проміжні вузли (маршрутизатори).

3. Розроблено інтеграційну систему дистанційного моніторингу безпроводних сенсорних мереж із мобільними сенсорами БПЛА, телекомунікаційними наземними вузлами та аероплатформами, яка входить в єдине інформаційне поле радіаційної розвідки в районі радіаційного забруднення

4. Розроблено схему доставки інформації про радіаційне забруднення за допомогою дистанційного моніторингу безпроводних сенсорних мереж із мобільними сенсорами на БПЛА через телекомунікаційний наземний вузол

5. В районах розташування об'єктів критичної інфраструктури автоматичні датчики доцільно встановлювати у місцях, які забезпечують максимальне охоплення окремо розташованих елементів. Такими місцями

можуть бути: основні споруди ОКП, райони передавального центру та приймального радіоцентру, вузол зв'язку.

6. Розроблений технологічний продукт дозволяє вирішувати важливі проблеми, дистанційного 3D моніторингу зони спостереження та радіаційної розвідки в районі радіаційного забруднення, оцінку ризиків впливу зараження на здоров'я особового складу, які дислокуються у зоні радіаційного забруднення, забезпечення інформаційно-телекомунікаційних послуг у районах із зруйнованою або відсутньою інфраструктурою.

ВИСНОВКИ

У дисертаційному дослідженні вирішена важлива науково-прикладна задача розробленням теоретичних і прикладних засад побудови інформаційних технологій обробки даних про радіаційне забруднення місцевості в автоматизованій системі контролю радіаційної обстановки і системах управління відходами, при малій щільності точок контролю.

У результаті виконання роботи отримані наступні результати:

1. Розроблено математичні моделі послідовної параметричної адаптації радіаційного забруднення місцевості за даними радіаційної розвідки при малій щільності точок контролю, використовуючи апіорну інформацію про осередки радіоактивного забруднення і метеоумови.

2. Визначені найбільш перспективні шляхи розвитку методів виявлення фактичного радіаційного зараження місцевості за даними радіаційної розвідки в АСКРО і СУВ. Показана доцільність використання адаптивних підходів при малих вибірках вимірювань потужності дози випромінювання і інтерполяційних методів для репрезентативних вибірок. Сформульовані вимоги до розроблених методів обробки результатів радіаційної розвідки при різній щільності і достовірності вихідних даних.

3. Обґрунтовано наукові та методичні підходи предметно-орієнтованої оцінки даних радіоактивного забруднення місцевості за даними радіаційної розвідки на основі технології геоінформаційних систем і дистанційного зондування Землі з космосу.

4. Розроблено методи екстраполяції потужності дози випромінювання в часі для автоматизованої системи контролю радіаційної обстановки. на основі методу лінійної оптимальної екстраполяції. Потужності дози випромінювання в часі для АСКРО, коли це дало змогу безпосередньо визначати коефіцієнта спаду потужності дози випромінювання при ускладненнях отримання інформації та непередбачених критичних ситуаціях.

5. Вдосконалено адаптивний, до початкової інформації, алгоритм обробки даних радіаційної розвідки на основі методу лінійної оптимальної інтерполяції,

що дозволило уточнювати параметри моделі за показаннями датчиків і тим самим підвищувати її достовірність.

6. Розроблений і реалізований на персональній ЕОМ прототип завдання "Виявлення радіоактивного зараження місцевості за даними радіаційної розвідки". Програмна реалізація здійснена на мові програмування високого рівня. Застосування завдання в органах управління і розрахунково-аналітичних станціях дозволить підвищити достовірність і оперативність виявлення фактичного радіаційного забруднення місцевості. Розроблене математичне забезпечення може бути використане в перспективних АСКРО і СУВ, а також для вирішення завдань в органах управління цивільної оборони і підрозділах, призначених для ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій.

7. Розроблено алгоритм формування цифрового зображення поля радіаційного забруднення місцевості, які використовуються для відображення небезпечних в радіаційному відношенні зон забруднення. Модель поширення радіоактивної хмари в приземному шарі атмосфери дозволяє розрахувати потужність дози випромінювання на сліді радіоактивної хмари при аварії ядерного реактора.

8. Розроблено інтелектуальну технологію сенсорного поля радіаційної розвідки, яка базується на застосуванні безпроводних сенсорних мереж (БСМ), мобільних та стаціонарних датчиків та телекомунікаційних аероплатформ для збору і передачі інформації до органу управління для подальшої обробки і прийняття рішень.

9. Впровадження результатів дисертаційної роботи дозволить: підвищити достовірність і оперативність одержаної інформації радіоактивного забруднення місцевості за даними радіаційної розвідки при малій щільності точок контролю, використовуючи апріорну інформацію про осередки радіоактивного забруднення і метеоумови в ході бойової роботи в «Розрахунково-аналітичному центрі Збройних Сил України», «Управлінні радіаційного, хімічного і біологічного захисту Командування сил підтримки Збройних Сил України», «Командуванні сил підтримки Збройних Сил України».

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Основи забезпечення радіаційного, хімічного, біологічного захисту військ під час бою або операції. – К.: НАОУ, 1995. – 200с.
2. Класифікатор надзвичайних ситуацій в Україні. – К., МНС України, 1999. – 178
3. Інструкція про створення єдиної системи виявлення та оцінки масштабів і наслідків застосування ЗМУ, радіаційно та хімічно небезпечних аварій. Наказ Міністра оборони України №033 від 07.07.94. – К.: ГШ, 1994. – 90с.
4. Основи підготовки та ведення операцій ЗС України. – К.: НАОУ, 2000. – 464с.
5. Методика роботі посадових осіб щодо організації забезпечення радіаційного, хімічного, біологічного захисту. Форми бойових документів. – К.: НАОУ, 2001. – 187с
6. Нагорний Є.І., Тертишний Б.І. Удосконалення сукупності показників оцінювання ефективності забезпечення радіаційної безпеки оперативно-тактичного угруповання військ в оборонній операції. Збірник наукових праць Національного університету оборони України “Труди університету”. Київ, 2023 р. Вип. № 7 (182). С. 79–88. Таємно інв. № 50000 т. в НУОУ.
7. Триснюк В. М., Нагорний Є. І. Використання методів інтерполяції для обробки даних радіаційної розвідки. Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій. Науковий журнал: телекомунікаційні та інформаційні технології. № 1 (82). 2024р. ISSN 2412-4338.
8. Основи технічного забезпечення радіаційного, хімічного, біологічного захисту. – К.: НАОУ, 2001. – 175с
9. Енергетична стратегія України на період до 2030 року // Схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 15 березня 2006 року № 145-р, – 134 с.
10. В.М. Триснюк, Є.І. Нагорний, Т.В. Триснюк, О.О. Конецька, А.В. Курило. Методика виявлення радіаційного забруднення місцевості та його

ризиків. Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць. Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка. Випуск 3(69) Полтава 2022. С. 112-115. ISSN 2073-7394.
<http://journals.nupp.edu.ua/sunz/issue/view/90/50>

11. Ключников А.А. Методические основы руководств по управлению тяжелыми авариями на АЭС с ВВЭР. Вторая международная научно-техническая конференция “Повышение безопасности и эффективности АЭС” / А.А. Ключников, В.И. Скалозубов, С.В. Волков, Ю.А. Коврижкин, В. Н. Колыханов, Г.Г. Габлая, В.Н. Ващенко, В.В. Злочевский, Одесса, 2010. – 243 с.

12. Комплексний огляд регулюючої діяльності (IRRS) в Україні. – МАГАТЕ, 2008. – 199 с.

13. Литвиненко Н.А. – Технологія програмування на C++ – Київ, 2005. – 342 с.

14. А.А. Нікітін, Є.І. Нагорний, Р.М. Борта, Б.І. Тertiшний. Розроблення алгоритму програмування за логікою методики визначення радіаційної обстановки в зоні радіоактивного забруднення внаслідок аварії на атомній електростанції. Detroit (Michigan, USA) – 2023. Collective of Authors. NGO Institute for Cyberspace Research. с. 311-318. ISBN-10/979-8-218-22315-1
http://repositsc.nuczu.edu.ua/bitstream/123456789/18603/1/Monograph_CHALLENGES-AND-THREATS.pdf

15. Виявлення і оцінки радіаційної обстановки під час руйнувань (аварій) атомних електростанцій: методичний посібник. – Харків, 2011. – 54 с.

16. Оцінювання радіаційної та хімічної обстановки на об'єктах господарської діяльності: методичний посібник. – Київ, 2007. – 67 с.

17. Наследие Чернобыля: здоровье, окружающая среда и социально-экономическое влияние: Отчет МАГАТЭ. – Вена, 2005. – 600 с.

18. 25 лет Чернобыльской катастрофы. Безопасность будущего: национальный доклад Украины: – К.: КІМ, 2011. – 356 с.

19. 20 лет Чернобыльской катастрофы. Взгляд в будущее: национальный доклад Украины. – Киев: Атика, 2006. – 210 с.

20. Павленко Т. О. Радіаційно-гігієнічна оцінювання доз опромінення населення України від техногенно-підсилених джерел природного походження: Автореф. дис. д-ра біол. наук. – Київ, 2010. – 39 с.

21. Trysnyuk V., Nagornyi Y., Bevziuk A., Meshcheriakov I., Nikitin A. Application domain and analysis of the existent state of methodologies of exposure radioactive and chemical contaminations of locality. Sustainable geospatial development of natural and economic systems in Ukraine: Collective monograph. Bilostok, 2020. С. 204-216, ISBN 978-83-953142-2-3.

22. Смагулов С.Г., Кисеев С.В., Ларин С.В., Исаев Н.В. Разработка и создание автоматизированной информационно-поисковой системы по радиационной обстановке при ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС. Книга 2. – Ирпень: в/ч 19772, 1987. – 147с.

23. Справочник по теории вероятностей и математической статистике. Под ред. В.С. Королюка. – Киев: Наукова думка, 1978. – 581с.

24. Терехов В., Ларин С. и др. Разработка и создание автоматизированной информационно-поисковой системы по радиационной обстановке при ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС. Книга 1. – Ирпень: в/ч 19772, 1987. – 147с.

25. Васильев В.И. Распознающие системы. Справочник. – Киев: Наукова думка, 1983. – 421с.

26. Боевые свойства ядерного оружия. Том 2. – М.: Воениздат, 1980. – 528с.

27. Барбашев С. В. Роль общественности в развитии ядерной энергетики Украины // Ядерна та радіаційна безпека. – 2010. – №1 (45). – С. 53–56.

28. Радиационная авария в Гоянии. – Вена.: Международное агентство по атомной энергии, 1989. – 148с.

29. Міжнародна шкала ядерних подій. – Режим доступу: <http://www.snrc.gov.ua/nuclear/uk/publish/article/88633;jsessionid=B71453A2498BBA62F743218E7B3F408F>.

30. Триснюк В.М., Нагорний Є.І., Сметанін К.В., Гуменюк І.В., Уварова Т.В. Метод автентифікації користувачів до об'єктів критичної інфраструктури на

основі ідентифікації особи за голосовим повідомленням. Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”. Сучасні інформаційні системи. Науковий журнал Том 4, № 3. 2020. С. 11-17.
http://library.kpi.kharkov.ua/files/documents/sys_2020_3.pdf

31. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2007 році – К. : „Чорнобильінтерінформ”, 2008. – 398 с.

32. Триснюк Т.В., Конецька О.О., Нагорний Є.І., Марущак В.М., Волинець Т.В., Приступа В.В. Оцінка радіаційного ризику забруднення місцевості для населення внаслідок військових дій. Challenges and threats to critical infrastructure. Detroit (Michigan, USA) – 2023. NGO Institute for Cyberspace Research, 2023. с. 163-167 ISBN-10/979-8-218-22315-1.
<http://repositsc.nuczu.edu.ua/bitstream/123456789/17917/1/Monograph-09-06-2023.pdf#page=163>

33. Радіологічний стан територій, віднесених до зон радіоактивного забруднення. – Режим доступу: http://mns.gov.ua/UserFiles/File/2009/table_1.pdf.

34. 20 років Чорнобильської катастрофи. Погляд у майбутнє: Національна доповідь України. – К. : Атака, 2006. – 224 с.

35. Likhtarev I.A. Chernobyl accident: Retrospective and prospective estimates of external dose of the population of Ukraine / Likhtarev I. A., Kovgan L. N., Jakob P. // Health Phys. – 2002. – Vol. 82, № 3. – P. 290–303.

36. V. Trysnyuk V. Ehorov, T. Trysnyuk, V. Prystupa, Ye. Nahornyj, V. Marushchak. Improvement of The System of Automated Pointing of the Antenna to the Satellite. 16th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment, 15–18 November 2022, Kyiv, p.1 – 5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022580098>

37. Trysnyuk V., Okhariev, V., Anpilova, Y, Trysnyuk, T., Nagorny, Y Environmental monitoring based on aerospace and terrestrial researches. XIV International Scientific Conference “Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment”, 10–13 November 2020, Kyiv, Ukraine. p.1-5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202056095>

38. V. Trysnyuk, T. Trysnyuk, I. Radchuk, L. Horoshkova, Ie. Khlobystov, Y. Nagorny. Modeling of dangerous processes of natural and man-made disasters. [21063]. European Association of Geoscientists&Engineers. Conference Proceedings, Geoinformatics, May 2021, Volume 2021, p. 1 – 6. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521063>

39. Нагорний Є.І., Нікітін А.А., Конецький Я.М., Пащенко Є.Ю. Виявлення радіаційного забруднення місцевості під час військових дій. Колективна монографія за матеріалами XXI-ї Міжнародної науково-практичної конференції. Інформаційно-комунікаційні технології та сталий розвиток. 14-16 листопада 2022 р. Київ С. 150-154. ISBN 978-617-7854-76-9. <https://itgip.org/wp-content/uploads/2022/12/2022-12-06 UDK book Monografia 48x210.pdf>

40. Кодекс цивільного захисту України : Закон України від 02.10.2012 р. № 5403-VI. *Відомості Верховної Ради України*. 2013. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17#Text>.

41. Триснюк В.М., Нагорний Є.І., Конецький Я.М., Нікітін А.А. Оброблення інформації про радіоактивне забруднення місцевості з використанням даних ДЗЗ та ГІС. Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях: виклики 2021 року // Колективна монографія за матеріалами XX Міжнародної науково-практичної конференції. 4-8 жовтня 2021 р. / За заг. ред. С.О. Довгого. - К.: ТОВ «Видавництво «Юстон», Київ. с.81-84. https://itgip.org/wp-content/uploads/2021/10/1_zbirka_2021.pdf

42. Мещеряков І.С., Нагорний Є.І. Навчальна система підтримки рішень із організації ліквідації наслідків РХБ-зараження. Третя міжнар. наук.-практ. конф. «Сучасні тенденції розвитку інформаційних систем і телекомунікаційних технологій», 25–26 січня 2021 р. Київ, Україна. – К.: НУХТ, 2021. – с.126-129. ISBN 978-83-956296-3-1. https://cipma.org.ua/data/conference/Conf_STRISITT03_2021-02-08.pdf

43. Є.І. Нагорний. Інформаційні технології при побудові поля радіаційного забруднення місцевості і прогнозуванні. Екологічна безпека та

природокористування, Вип. 1 (49), 2024р., с. 155-160. ISSN: 2411-4049.
<https://doi.org/10.32347/2411-4049.2024.1.155-160>

44. Про затвердження Порядку здійснення навчання населення діям у надзвичайних ситуаціях : постанова Кабінету Міністрів України від 26.06.2013 р. № 444. *Офіційний вісник України*. 2013. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/444-2013-%D0%BF#Text> (дата звернення : 10.09.2021).

45. Про затвердження Положення про єдину державну систему цивільного захисту : постанова Кабінету Міністрів України від 09.01.2014 р. № 11. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/11-2014-%D0%BF#Text> (дата звернення : 10.09.2021).

46. Про затвердження Методичних рекомендацій щодо порядку створення, обладнання та забезпечення функціонування консультаційних пунктів з питань цивільного захисту при житлово-експлуатаційних організаціях та сільських (селищних) радах : наказ МНС України від 07.06.2011 р. № 587. URL : <http://www.dsns.gov.ua/files/2011/6/9/587.pdf> (дата звернення : 10.09.2021).

47. Про діяльність консультаційних пунктів з питань цивільного захисту в територіальних громадах області : розпорядження голови Волинської обласної державної адміністрації від 29.04.2021 р. № 226. URL : <https://vl.nmc.dsns.gov.ua/files/cite/pdf/> (дата звернення : 10.09.2021).

48. Соціальні наслідки чорнобильської катастрофи (результати соціологічних досліджень 1986–1995 р.р.) / Ред. В. Ворона, Є. Головаха, Ю. Саєнко. – Харків: Фоліо, 1996. – 414 с.

49. Трофименко А.П., Писанко Ж.І. Аналіз особливостей наукової підтримки атомної енергетики в країнах з найбільшою потужністю діючих АЕС / А.П. Трофименко, Ж.І. Писанко ЯРБ, №3, Київ, 2002. – 243 с.

50. Широков С.В. Ядерные энергетические реакторы: учебника пособие. – К.: НТТУ “КПИ”, 1997. – 280 с.

51. Fukushima Accident 2011. – Information Papers World Nuclear Association. 26 March 2011; updated 27 May 2011; updated 4 June 2011; updated 13 June 2011; Press Releases TEPCO, JAIF, NISA.

52. В.М. Триснюк, Є.І. Нагорний, Т.В. Триснюк, О.О. Конецька, А.В. Курило. Методика виявлення радіаційного забруднення місцевості та його ризиків. Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць. Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка. Випуск 3(69) Полтава 2022. С. 112-115. ISSN 2073-7394. <http://journals.nupp.edu.ua/sunz/issue/view/90/50>

53. І. С. Мещеряков, Є.І. Нагорний, А.В. Мацько, М.М. Хомік. Функціонування системи ХБРЯ захисту у ході широкомасштабної збройної агресії рф проти України. Український військово-медичний журнал. Том 3 (4). листопад 2022 р. Київ. с. 60-66. DOI:10.46847/ujmm.2022.4(3)-060

54. Хомік М.М., Бевзюк А.П., Нагорний Є.І. Аналіз стану інформаційного забезпечення систем екологічного моніторингу. 22 Всеукраїнська науково-практична конференція (за міжнародною участю) Спроможності функціональних та територіальних підсистем ЄДСЦЗ для оперативного розв'язання завдань за призначенням. 27 жовтня 2021 року Київ. с 285-288. <https://idundcz.dsns.gov.ua/upload/5/4/1/7/0/4/2020-nauka-konferencia-materiali26.pdf>

55. Триснюк В.М., Курило А.В., Охарєв В.О., Шумейко В.О., Триснюк Т.В., Сметанін К.В., Нагорний Є.І., Хабова Н.В., Зотова Л.В. Екологічна оцінка впливу сміттєзвалищ на стан поверхневих та підземних вод на основі даних ДЗЗ. Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях: тенденції 2020 року // Колективна монографія за матеріалами XIX Міжнародної науково-практичної конференції. Київ, 6-7 жовтня 2020 р., с.74–78. https://itgip.org/wp-content/uploads/2020/10/zbirka_2020_1.pdf

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

ЗАТВЕРДЖУЮ

Начальник розрахунково-аналітичного
центру Збройних Сил України

полковник



Андрій ОЛЕФІР

АКТ

про впровадження наукових результатів дисертації
аспіранта інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору
Національної академії наук України
НАГОРНОГО Євгена Ігоровича

Комісія Розрахунково-аналітичного центру Збройних Сил України у складі голови комісії – заступника начальника розрахунково-аналітичного центру Збройних Сил України підполковника Шатного Р.В. та членів комісії: начальника розрахункового відділу розрахунково-аналітичного центру Збройних Сил України майора Сокура А.О., начальника хіміко-аналітичного відділу розрахунково-аналітичного центру Збройних Сил України майора Ресенко В.Я., начальника інформаційного відділення розрахункового відділу молодшого лейтенанта Казюк О.І. розглянула запропоновані матеріали в межах дисертаційного дослідження полковника Нагорного Є.І. на тему “Інформаційні технології підтримки прийняття рішень при виникненні радіаційного забруднення місцевості”.

Комісією встановлено, що науковий результат, який розроблений особисто автором, полягає в удосконаленні методики екстраполяції потужності дози випромінювання в часі для автоматизованої системи контролю радіаційної обстановки, коли безпосереднє визначення коефіцієнта спаду потужності дози випромінювання викликає ускладнення.

Комісією також встановлено, що результати, які розроблені, дозволять: підвищити достовірність і оперативність виявлення фактичного радіоактивного забруднення місцевості; формувати та видавати необхідну інформацію про радіоактивне забруднення місцевості в текстовому та графічному вигляді в умовах невизначеності; проводити прогнозування радіаційної обстановки до початку зруйнування об’єктів атомної промисловості; здійснювати оцінювання, узагальнення та обробку інформації про радіаційну обстановку з початком радіаційного забруднення місцевості;

відображати (моделювати) обстановку на моніторах, планшетах, картах (електронних картах).

Таким чином, результати дисертаційного дослідження можуть бути використані у ході бойової роботи розрахунково-аналітичного центру Збройних Сил України під час участі в операції об'єднаних сил.

Голова комісії: підполковник

Члени комісії: майор

майор

молодший лейтенант

Руслан ШАТНИЙ

Артем СОКУР

Валентин РЕСЕНКО

Ольга КАЗЮК

ЗАТВЕРДЖУЮ

Тимчасово виконуючий обов'язки начальника
військ радіаційного, хімічного, біологічного
захисту – начальника управління радіаційного,
хімічного, біологічного захисту Командування
Сил підтримки Збройних Сил України
полковник



Сергій ПАХОМОВ

березня 2024 року

АКТ

про впровадження наукових результатів дисертації
аспіранта інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору
Національної академії наук України
НАГОРНОГО Євгена Ігоровича

Комісія управління радіаційного, хімічного, біологічного захисту Командування Сил підтримки Збройних Сил України у складі голови комісії – начальника відділу організації радіаційного, хімічного, біологічного захисту управління радіаційного, хімічного, біологічного захисту Командування Сил підтримки Збройних Сил України полковника Дяка І.Б. та членів комісії: начальника відділу екологічної безпеки та цивільного захисту управління радіаційного, хімічного, біологічного захисту Командування Сил підтримки Збройних Сил України полковника Скаковського В.К., головного спеціаліста відділу екологічної безпеки та цивільного захисту управління радіаційного, хімічного, біологічного захисту Командування Сил підтримки Збройних Сил України підполковника Власюка А.В., головного спеціаліста відділу організації радіаційного, хімічного, біологічного захисту управління радіаційного, хімічного, біологічного захисту Командування Сил підтримки Збройних Сил України полковника Шепелева Р.М. розглянула запропоновані матеріали в межах дисертаційного дослідження полковника Нагорного Є.І. на тему “Інформаційні технології підтримки прийняття рішень при виникненні радіаційного забруднення місцевості”.

Комісією встановлено, що наукові результати, які розроблені особисто автором, полягають в удосконаленні адаптивного до початкової інформації алгоритму обробки даних радіаційної розвідки на основі методу лінійної оптимальної інтерполяції, розробленні функціональної схеми для спеціального програмного забезпечення “Виявлення радіоактивного

забруднення місцевості за даними радіаційної розвідки” та функціональної схеми роботи процедур моделювання даних радіаційної розвідки.

Комісією також встановлено, що результати, які розроблені, дозволять: підвищити достовірність і оперативність виявлення фактичного радіоактивного забруднення місцевості; формувати та видавати необхідну інформацію про радіоактивне забруднення місцевості в текстовому та графічному вигляді в умовах невизначеності; проводити прогнозування радіаційної обстановки до початку зруйнування об’єктів атомної промисловості; здійснювати оцінювання, узагальнення та обробку інформації про радіаційну обстановку з початком радіаційного забруднення місцевості; відображати (моделювати) обстановку на моніторах, планшетах, картах (електронних картах); формувати дані для обґрунтування пропозицій та своєчасного їх надання посадовими особами для прийняття управлінських рішень старшим начальником на застосування військ в умовах радіаційного забруднення.

Таким чином, результати дисертаційного дослідження можуть бути використані під час підготовки органів збору, узагальнення та аналізу даних про радіаційну обстановку, а також під час участі Збройних Сил України в операції об’єднаних сил.

Голова комісії: полковник
Члени комісії: полковник
полковник
підполковник



Ігор ДЯК
Володимир СКАКОВСЬКИЙ
Роман ШЕПЕЛЕВ
Артем ВЛАСЮК

ЗАТВЕРДЖУЮ

Тимчасово виконуючий обов'язки
командувача Сил підтримки
Збройних Сил України
полковник

Юрій ОНІЩУК
25 березня 2024 року

АКТ

про впровадження наукових результатів дисертації
аспіранта інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору
Національної академії наук України
НАГОРНОГО Євгена Ігоровича

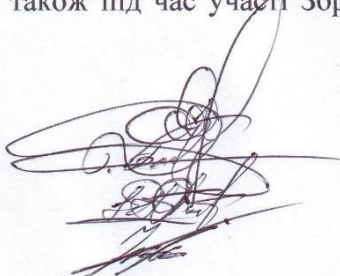
Комісія Командування Сил підтримки Збройних Сил України у складі голови комісії – начальника відділу бойової готовності та оперативних чергових оперативного управління штабу Командування Сил підтримки Збройних Сил України полковника Антонова О.О. та членів комісії: головного спеціаліста відділу бойової готовності та оперативних чергових оперативного управління штабу Командування Сил підтримки Збройних Сил України полковника Батуліна Р.В., старшого офіцера інформаційно-аналітичного відділу оперативного управління штабу Командування Сил підтримки Збройних Сил України полковника Клиша Ю.І., старшого офіцера оперативного відділу оперативного управління штабу Командування Сил підтримки Збройних Сил України майора Індутного Д.Г. розглянула запропоновані матеріали в межах дисертаційного дослідження полковника Нагорного Є.І. на тему “Інформаційні технології підтримки прийняття рішень при виникненні радіаційного забруднення місцевості”.

Комісією встановлено, що наукові результати, які розроблені особисто автором, полягають в удосконаленні методики послідовної параметричної адаптації моделі радіоактивного забруднення місцевості даними радіаційної розвідки при малій щільності точок контролю, яка може використати апріорну інформацію про осередки радіоактивного забруднення і метеоумови у момент формування поля радіаційного забруднення місцевості, а практичні рекомендації щодо удосконалення інформаційних технологій підтримки прийняття рішень при виникненні радіаційного забруднення дозволяють підвищити якість вирішення завдань управління на 14-18%.

Комісією також встановлено, що результати, які розроблені, дозволять: підвищити достовірність і оперативність виявлення фактичного радіоактивного забруднення місцевості; формувати та видавати необхідну інформацію про радіоактивне забруднення місцевості в текстовому та графічному вигляді в умовах невизначеності; проводити прогнозування радіаційної обстановки до початку зруйнування об'єктів атомної промисловості; здійснювати оцінювання, узагальнення та обробку інформації про радіаційну обстановку з початком радіаційного забруднення місцевості; відображати (моделювати) обстановку на моніторах, планшетах, картах (електронних картах); формувати дані для обґрунтування пропозицій та своєчасного їх надання посадовими особами для прийняття управлінських рішень старшим начальником на застосування військ в умовах радіаційного забруднення.

Таким чином, результати дисертаційного дослідження можуть бути використані під час підготовки органів збору, узагальнення та аналізу даних про радіаційну обстановку, а також під час участі Збройних Сил України в операції об'єднаних сил.

Голова комісії: полковник
Члени комісії: полковник
полковник
майор



Олексій АНТОНОВ
Руслан БАТУЛІН
Юрій КЛИШ
Дмитро ІНДУТНИЙ

ДОДАТОК Б

Дані радіаційної розвідки місцевості в районі Чорнобильської АЕС

Додаток Б.1
форма № 7есДані
про результати радіаційної розвідки

Дата	Час	Координати прямокутні		Рівень радіації, р/г	
		Х	У		
1	2	3	4	5	
01.09	00.00	118.1	129.4	0.25	Промзона-01
01.09	00.00	115.9	131.0	2	Промзона-02
01.09	00.00	115.9	130.4	1.8	Промзона-03
01.09	00.00	114.8	129.1	0.15	Промзона-04
01.09	00.00	116.4	131.8	3.5	Промзона-05
01.09	00.00	114.1	130.4	0.5	Промзона-06
01.09	00.00	115.9	132.4	0.4	Промзона-07
01.09	00.00	115.9	133.3	0.4	Промзона-08
01.09	00.00	115.1	138.0	0.4	Промзона-09
01.09	00.00	115.0	136.1	0.35	Промзона-10
01.09	00.00	116.8	132.7	0.2	Промзона-11
01.09	00.00	116.1	127.4	0.25	Промзона-12
01.09	00.00	113.2	134.5	2.5	Промзона-13
01.09	00.00	112.2	136.1	1.4	Промзона-14
01.09	00.00	113.9	136.6	1.5	Промзона-15
01.09	00.00	114.1	135.8	0.4	Промзона-16
01.09	00.00	112.7	136.6	0.8	Промзона-17
01.09	00.00	112.7	139.0	0.16	Промзона-18
01.09	00.00	112.7	142.2	0.1	Промзона-19
01.09	00.00	112.7	146.4	0.019	Промзона-20
01.09	00.00	108.0	146.1	0.025	Промзона-21
01.09	00.00	107.4	142.2	0.04	Промзона-22
01.09	00.00	107.4	138.4	1.4	Промзона-23
01.09	00.00	107.4	134.5	5	Промзона-24
01.09	00.00	107.4	130.6	10	Промзона-25
01.09	00.00	109.9	128.9	6	Промзона-26
01.09	00.00	110.4	137.2	0.6	Промзона-27
01.09	00.00	109.1	137.2	1.6	Промзона-28
01.09	00.00	109.1	139.8	0.2	Промзона-29
01.09	00.00	108.0	147.4	0.007	Будбаза-01
01.09	00.00	108.6	148.8	0.018	Будбаза-02
01.09	00.00	114.1	150.3	0.045	Будбаза-03
01.09	00.00	119.5	140.6	0.11	Будбаза-04
01.09	00.00	119.8	127.4	0.64	Будбаза-05
01.09	00.00	120.0	132.5	1.1	Будбаза-06
01.09	00.00	120.9	137.2	1.1	Будбаза-07
01.09	00.00	120.1	137.0	0.45	Будбаза-08
01.09	00.00	120.3	133.3	0.7	Будбаза-09
01.09	00.00	119.5	120.3	0.7	Будбаза-10
01.09	00.00	120.0	125.3	0.4	Будбаза-11

Продовження додатка Б.1

1	2	3	4	5	
01.09	00.00	120.9	126.6	0.45	Будбаза-12
01.09	00.00	119.5	110.0	0.45	Будбаза-13
01.09	00.00	118.4	116.0	0.35	Будбаза-14
01.09	00.00	118.2	125.9	0.85	Будбаза-15
01.09	00.00	113.0	123.4	1.5	Будбаза-16
01.09	00.00	113.5	115.2	0.7	Будбаза-17
01.09	00.00	113.2	112.6	0.45	Будбаза-18
01.09	00.00	110.9	123.6	2.8	Будбаза-19
01.09	00.00	111.5	119.7	0.75	Будбаза-20
01.09	00.00	111.5	119.0	0.6	Будбаза-21
01.09	00.00	111.5	114.3	0.25	Будбаза-22
01.09	00.00	107.4	123.8	53	Будбаза-23
01.09	00.00	106.1	123.1	30	Будбаза-24
01.09	00.00	104.7	121.7	8	Будбаза-25
01.09	00.00	100.8	118.4	1.8	Будбаза-26
01.09	00.00	100.8	126.8	1.1	Будбаза-27
01.09	00.00	100.8	137.2	1	Будбаза-28
01.09	00.00	100.8	148.6	0.05	Будбаза-29

Додаток Б.2
форма № 7есОНЕСЕННЯ
про результати радіаційної розвідки

Дата	Час	Координати прямокутні		Рівень радіації, р/ч	
		X	Y		
1	2	3	4	5	
01.11	00.00	118.1	129.4	0.09	Промзона-01
01.11	00.00	115.9	131.0	0.48	Промзона-02

Продовження додатка Б.2

1	2	3	4	5	
01.11	00.00	115.9	130.4	0.1	Промзона-03
01.11	00.00	114.8	129.1	0.08	Промзона-04
01.11	00.00	116.4	131.8	0.45	Промзона-05
01.11	00.00	114.1	130.4	0.08	Промзона-06
01.11	00.00	115.9	132.4	0.054	Промзона-07
01.11	00.00	115.9	133.3	0.038	Промзона-08
01.11	00.00	115.1	138.0	0.045	Промзона-09
01.11	00.00	115.0	136.1	0.075	Промзона-10
01.11	00.00	116.8	132.7	0.032	Промзона-11
01.11	00.00	116.1	127.4	0.035	Промзона-12
01.11	00.00	113.2	134.5	0.06	Промзона-13
01.11	00.00	112.2	136.1	0.36	Промзона-14
01.11	00.00	113.9	136.6	0.1	Промзона-15

01.11	00.00	114.1	135.8	0.1	Промзона-16
01.11	00.00	112.7	136.6	0.12	Промзона-17
01.11	00.00	112.7	139.0	0.1	Промзона-18
01.11	00.00	112.7	142.2	0.04	Промзона-19
01.11	00.00	112.7	146.4	0.01	Промзона-20
01.11	00.00	108.0	146.1	0.01	Промзона-21
01.11	00.00	107.4	142.2	0.03	Промзона-22
01.11	00.00	107.4	138.4	0.01	Промзона-23
01.11	00.00	107.4	134.5	1.4	Промзона-24
01.11	00.00	107.4	130.6	1	Промзона-25
01.11	00.00	109.9	128.9	0.96	Промзона-26
01.11	00.00	110.4	137.2	0.16	Промзона-27
01.11	00.00	109.1	137.2	4.5	Промзона-28
01.11	00.00	109.1	139.8	0.08	Промзона-29
01.11	00.00	108.0	147.4	0.003	Будбаза-01
01.11	00.00	108.6	148.8	0.003	Будбаза-02
01.11	00.00	114.1	150.3	0.01	Будбаза-03
01.11	00.00	119.5	140.6	0.024	Будбаза-04
01.11	00.00	119.8	127.4	0.2	Будбаза-05
01.11	00.00	120.0	132.5	0.28	Будбаза-06
01.11	00.00	120.9	137.2	0.24	Будбаза-07
01.11	00.00	120.1	137.0	0.34	Будбаза-08
01.11	00.00	120.3	133.3	0.18	Будбаза-09
01.11	00.00	119.5	120.3	0.2	Будбаза-10
01.11	00.00	120.0	125.3	0.05	Будбаза-11
01.11	00.00	120.9	126.6	0.15	Будбаза-12
01.11	00.00	119.5	110.0	0.05	Будбаза-13
01.11	00.00	118.4	116.0	0.11	Будбаза-14
01.11	00.00	118.2	125.9	0.12	Будбаза-15
01.11	00.00	113.0	123.4	0.75	Будбаза-16
01.11	00.00	113.5	115.2	0.23	Будбаза-17
01.11	00.00	113.2	112.6	0.12	Будбаза-18
01.11	00.00	110.9	123.6	0.75	Будбаза-19
01.11	00.00	111.5	119.7	0.25	Будбаза-20

Продовження додатка Б.2

1	2	3	4	5	
01.11	00.00	111.5	119.0	0.18	Будбаза-21
01.11	00.00	111.5	114.3	0.1	Будбаза-22
01.11	00.00	107.4	123.8	24	Будбаза-23
01.11	00.00	106.1	123.1	15	Будбаза-24
01.11	00.00	104.7	121.7	2.9	Будбаза-25
01.11	00.00	100.8	118.4	0.36	Будбаза-26
01.11	00.00	100.8	126.8	0.15	Будбаза-27
01.11	00.00	100.8	137.2	0.14	Будбаза-28
01.11	00.00	100.8	148.6	0.01	Будбаза-29

ДОНЕСЕННЯ про результати радіаційної розвідки

Дата	Час	Координати прямокутні		Рівень радіації, р/ч	
		Х	У		
1	2	3	4	5	
02.01	00.00	118.1	129.4	0.016	Промзона-01
02.01	00.00	115.9	131.0	0.28	Промзона-02
02.01	00.00	115.9	130.4	0.02	Промзона-03
02.01	00.00	114.8	129.1	0.018	Промзона-04
02.01	00.00	116.4	131.8	0.1	Промзона-05
02.01	00.00	114.1	130.4	0.12	Промзона-06
02.01	00.00	115.9	132.4	0.022	Промзона-07
02.01	00.00	115.9	133.3	0.03	Промзона-08
02.01	00.00	115.1	138.0	0.028	Промзона-09
02.01	00.00	115.0	136.1	0.02	Промзона-10
02.01	00.00	116.8	132.7	0.014	Промзона-11
02.01	00.00	116.1	127.4	0.02	Промзона-12
02.01	00.00	113.2	134.5	0.12	Промзона-13
02.01	00.00	112.2	136.1	0.16	Промзона-14
02.01	00.00	113.9	136.6	0.02	Промзона-15
02.01	00.00	114.1	135.8	0.038	Промзона-16
02.01	00.00	112.7	136.6	0.04	Промзона-17
02.01	00.00	112.7	139.0	0.016	Промзона-18
02.01	00.00	112.7	142.2	0.004	Промзона-19
02.01	00.00	112.7	146.4	0.004	Промзона-20
02.01	00.00	108.0	146.1	0.0028	Промзона-21
02.01	00.00	107.4	142.2	0.003	Промзона-22
02.01	00.00	107.4	138.4	0.075	Промзона-23
02.01	00.00	107.4	134.5	0.18	Промзона-24
02.01	00.00	107.4	130.6	0.26	Промзона-25
02.01	00.00	109.9	128.9	0.36	Промзона-26
02.01	00.00	110.4	137.2	0.04	Промзона-27
02.01	00.00	109.1	137.2	0.26	Промзона-28
02.01	00.00	109.1	139.8	0.01	Промзона-29
02.01	00.00	108.0	147.4	0.0036	Будбаза-01
02.01	00.00	108.6	148.8	0.0028	Будбаза-02

Продовження додатка Б.3

1	2	3	4	5	
02.01	00.00	114.1	150.3	0.003	Будбаза-03
02.01	00.00	119.5	140.6	0.0075	Будбаза-04
02.01	00.00	119.8	127.4	0.1	Будбаза-05
02.01	00.00	120.0	132.5	0.03	Будбаза-06
02.01	00.00	120.9	137.2	0.075	Будбаза-07
02.01	00.00	120.1	137.0	0.075	Будбаза-08
02.01	00.00	120.3	133.3	0.02	Будбаза-09
02.01	00.00	119.5	120.3	0.045	Будбаза-10
02.01	00.00	120.0	125.3	0.014	Будбаза-11

02.01	00.00	120.9	126.6	0.075	Будбаза-12
02.01	00.00	119.5	110.0	0.022	Будбаза-13
02.01	00.00	118.4	116.0	0.026	Будбаза-14
02.01	00.00	118.2	125.9	0.028	Будбаза-15
02.01	00.00	113.0	123.4	0.22	Будбаза-16
02.01	00.00	113.5	115.2	0.075	Будбаза-17
02.01	00.00	113.2	112.6	0.035	Будбаза-18
02.01	00.00	110.9	123.6	0.2	Будбаза-19
02.01	00.00	111.5	119.7	0.1	Будбаза-20
02.01	00.00	111.5	119.0	0.028	Будбаза-21
02.01	00.00	111.5	114.3	0.045	Будбаза-22
02.01	00.00	107.4	123.8	10	Будбаза-23
02.01	00.00	106.1	123.1	4.5	Будбаза-24
02.01	00.00	104.7	121.7	1	Будбаза-25
02.01	00.00	100.8	118.4	0.045	Будбаза-26
02.01	00.00	100.8	126.8	0.035	Будбаза-27
02.01	00.00	100.8	137.2	0.045	Будбаза-28
02.01	00.00	100.8	148.6	0.005	Будбаза-29

Додаток Б.4
форма № 7ес

ДОНЕСЕННЯ
про результати радіаційної розвідки

Дата	Час	Координати прямокутні		Рівень радіації, р/ч	
		Х	У		
1	2	3	4	5	
31.01	00.00	118.1	129.4	0.01	Промзона-01
31.01	00.00	115.9	131.0	0.024	Промзона-02
31.01	00.00	115.9	130.4	0.014	Промзона-03
31.01	00.00	114.8	129.1	0.016	Промзона-04
31.01	00.00	116.4	131.8	0.1	Промзона-05
31.01	00.00	114.1	130.4	0.1	Промзона-06
31.01	00.00	115.9	132.4	0.016	Промзона-07
31.01	00.00	115.9	133.3	0.024	Промзона-08
31.01	00.00	115.1	138.0	0.018	Промзона-09
31.01	00.00	115.0	136.1	0.012	Промзона-10
31.01	00.00	116.8	132.7	0.01	Промзона-11
31.01	00.00	116.1	127.4	0.014	Промзона-12

Продовження додатка Б.4

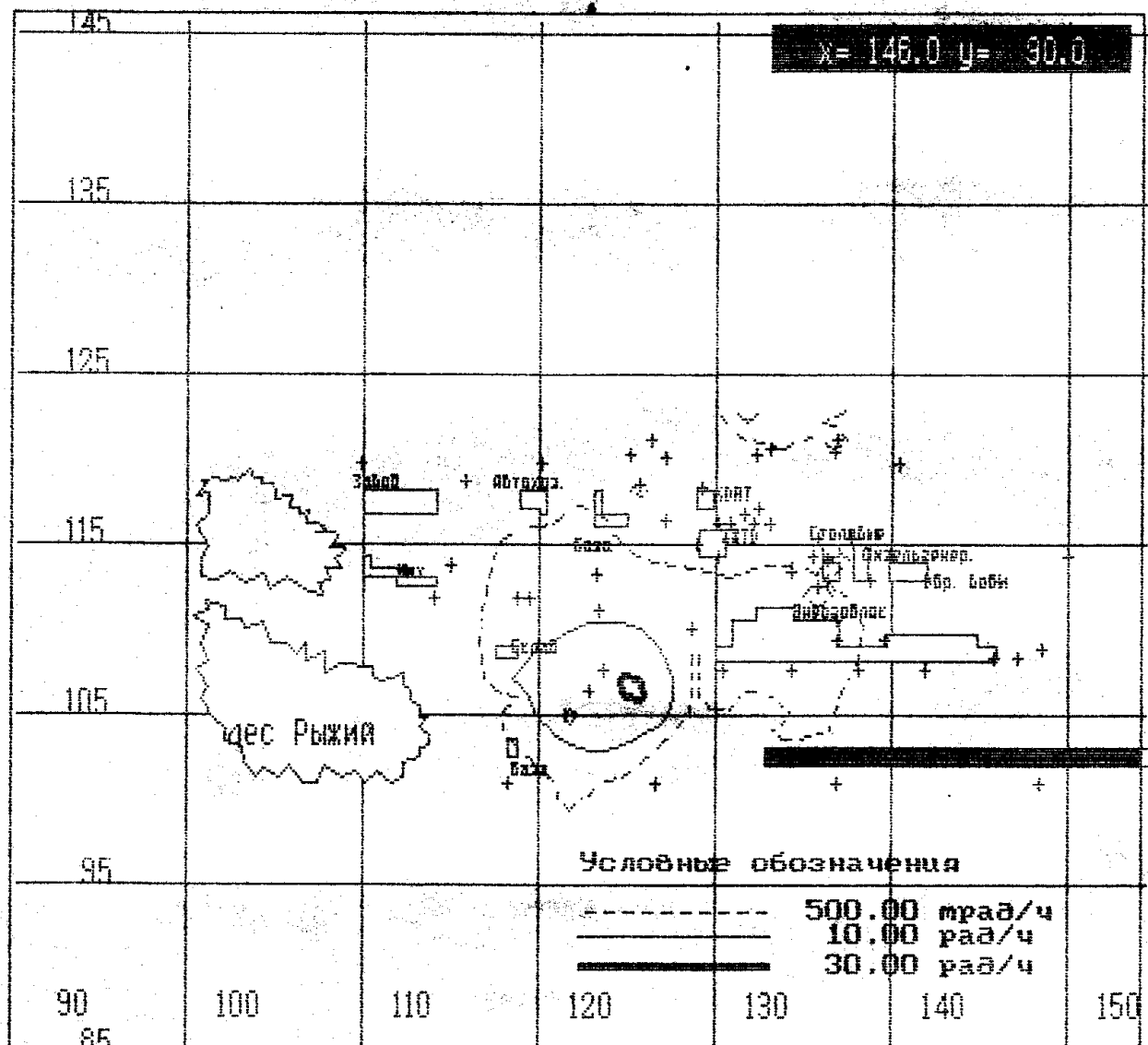
1	2	3	4	5	
31.01	00.00	113.2	134.5	0.028	Промзона-13
31.01	00.00	112.2	136.1	0.1	Промзона-14
31.01	00.00	113.9	136.6	0.016	Промзона-15
31.01	00.00	114.1	135.8	0.022	Промзона-16
31.01	00.00	112.7	136.6	0.026	Промзона-17
31.01	00.00	112.7	139.0	0.012	Промзона-18
31.01	00.00	112.7	142.2	0.003	Промзона-19
31.01	00.00	112.7	146.4	0.0028	Промзона-20
31.01	00.00	108.0	146.1	0.003	Промзона-21

31.01	00.00	107.4	142.2	0.01	Промзона-22
31.01	00.00	107.4	138.4	0.035	Промзона-23
31.01	00.00	107.4	134.5	0.1	Промзона-24
31.01	00.00	107.4	130.6	0.22	Промзона-25
31.01	00.00	109.9	128.9	0.16	Промзона-26
31.01	00.00	110.4	137.2	0.1	Промзона-27
31.01	00.00	109.1	137.2	0.026	Промзона-28
31.01	00.00	109.1	139.8	0.02	Промзона-29
31.01	00.00	108.0	147.4	0.0024	Будбаза-01
31.01	00.00	108.6	148.8	0.0018	Будбаза-02
31.01	00.00	114.1	150.3	0.0014	Будбаза-03
31.01	00.00	119.5	140.6	0.0035	Будбаза-04
31.01	00.00	119.8	127.4	0.04	Будбаза-05
31.01	00.00	120.0	132.5	0.03	Будбаза-06
31.01	00.00	120.9	137.2	0.075	Будбаза-07
31.01	00.00	120.1	137.0	0.005	Будбаза-08
31.01	00.00	120.3	133.3	0.012	Будбаза-09
31.01	00.00	119.5	120.3	0.022	Будбаза-10
31.01	00.00	120.0	125.3	0.014	Будбаза-11
31.01	00.00	120.9	126.6	0.04	Будбаза-12
31.01	00.00	119.5	110.0	0.016	Будбаза-13
31.01	00.00	118.4	116.0	0.012	Будбаза-14
31.01	00.00	118.2	125.9	0.018	Будбаза-15
31.01	00.00	113.0	123.4	0.1	Будбаза-16
31.01	00.00	113.5	115.2	0.028	Будбаза-17
31.01	00.00	113.2	112.6	0.026	Будбаза-18
31.01	00.00	110.9	123.6	0.1	Будбаза-19
31.01	00.00	111.5	119.7	0.04	Будбаза-20
31.01	00.00	111.5	119.0	0.016	Будбаза-21
31.01	00.00	111.5	114.3	0.024	Будбаза-22
31.01	00.00	107.4	123.8	4.2	Будбаза-23
31.01	00.00	106.1	123.1	2.4	Будбаза-24
31.01	00.00	104.7	121.7	0.5	Будбаза-25
31.01	00.00	100.8	118.4	0.022	Будбаза-26
31.01	00.00	100.8	126.8	0.022	Будбаза-27
31.01	00.00	100.8	137.2	0.035	Будбаза-28
31.01	00.00	100.8	148.6	0.003	Будбаза-29

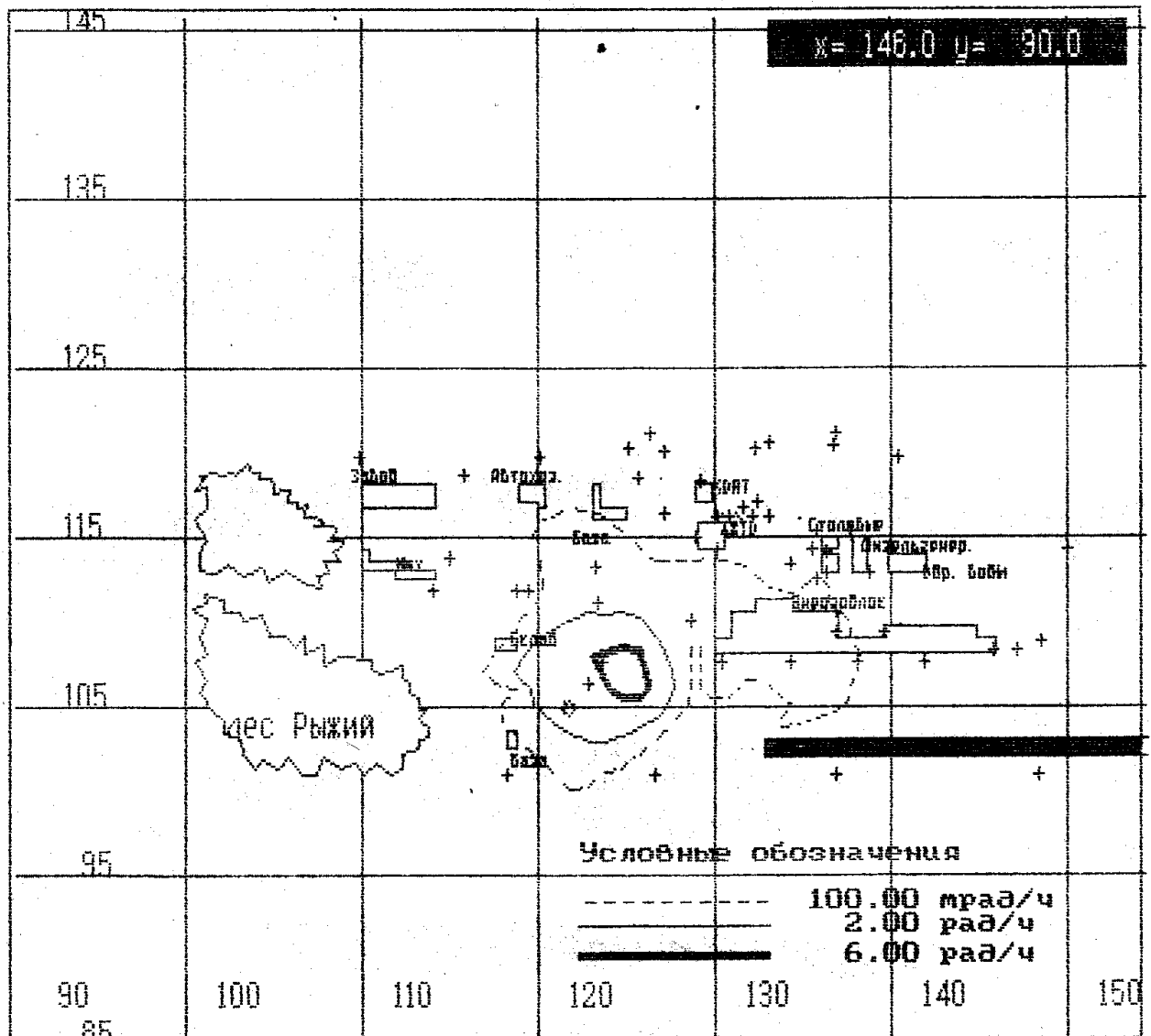
ДОДАТОК В
Результати виявлення фактичної радіаційної обстановки
на Чорнобильській АЕС

Додаток В.1

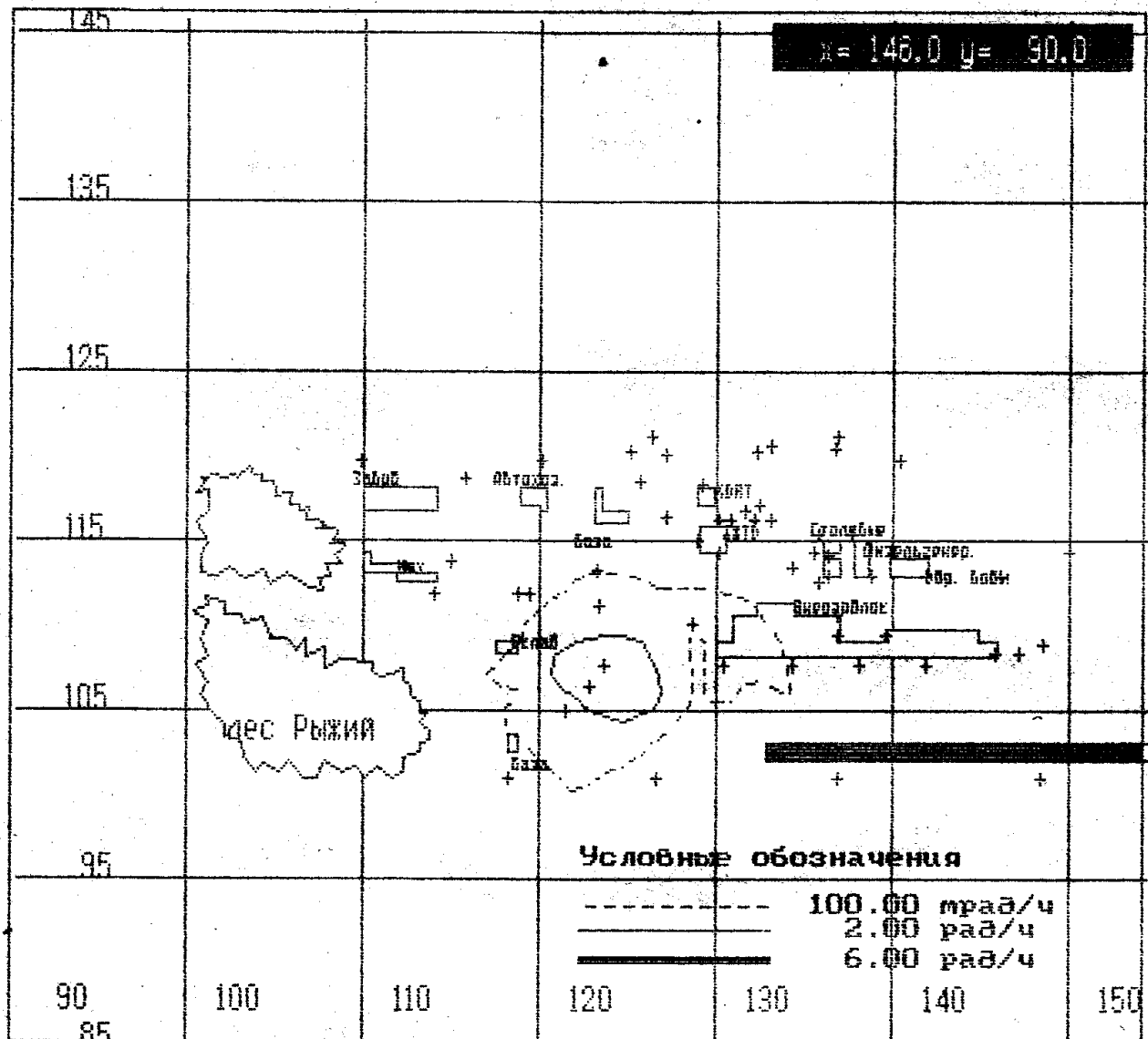
РЕЗУЛЬТАТИ
виявлення фактичної радіаційної обстановки на Чорнобильській АЕС
за даними на 1 жовтня 1986 року
з використанням програми Accident



РЕЗУЛЬТАТИ
виявлення фактичної радіаційної обстановки на Чорнобильській АЕС
за даними на 2 січня 1987 року
з використанням програми Accident



РЕЗУЛЬТАТИ
виявлення фактичної радіаційної обстановки на Чорнобильській АЕС
за даними на 31 січня 1987 року
з використанням програми Accident



ДОДАТОК Г

Результати оптимізації
параметрів методу лінійної оптимальної інтерполяції

Крок сітки оцифрованого зображення	Радіус локально однорідного елементу	Помилка відновлення потужності дози випромінювання в точках виміру, %		
		середня	максимальна	дисперсія
1	2	3	4	5
Чорнобильська АЕС. Дані радіаційної розвідки від 01.09.86р.				
3.74	11.21	1717	14573	1147
3.36	11.21	1882	22590	1325
2.99	11.21	1349	11106	897
2.61	11.21	1001	8818	662
2.24	11.21	889	7049	569
1.87	11.21	701	5431	459
1.49	11.21	526	4136	347
1.12	11.21	405	2895	273
0.74	11.21	341	2226	230
0.74	10.08	294	1991	198
0.74	8.96	254	1894	171
0.74	7.84	223	1802	140
0.74	6.72	182	1545	110
0.74	5.60	158	1330	96
0.74	4.48	146	1063	84
0.74	3.36	134	710	67
0.74	2.24	116	727	39
Чорнобильська АЕС. Дані радіаційної розвідки від 01.10.86р.				
3.74	11.21	2250	12033	1519
3.36	11.21	2491	26290	1821
2.99	11.21	1584	8914	1077
2.61	11.21	1199	7274	791
2.24	11.21	1037	5882	681
1.87	11.21	804	4421	533
1.49	11.21	578	3514	386
1.12	11.21	434	2769	297
0.74	11.21	348	2045	240
0.74	10.08	300	1541	209
0.74	8.96	253	1368	175
0.74	7.84	218	1187	144
0.74	6.72	174	1080	113
0.74	5.60	143	1070	93
0.74	4.48	127	1078	80
0.74	3.36	116	783	62
0.74	2.24	103	679	34

Продовження додатка Г

1	2	3	4	5
Чорнобильська АЕС. Дані радіаційної розвідки від 01.11.86р.				
3.74	11.21	3214	16532	2128

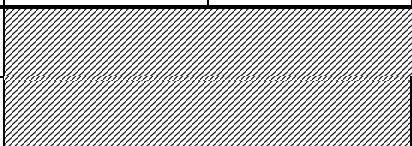
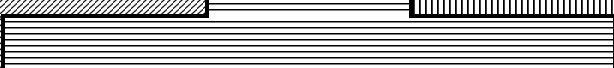
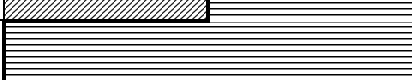
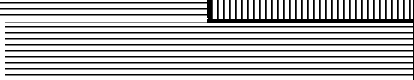
3.36	11.21	3466	27577	2491
2.99	11.21	2412	14383	1631
2.61	11.21	1847	11167	1189
2.24	11.21	1603	11146	1027
1.87	11.21	1284	9005	828
1.49	11.21	983	8905	631
1.12	11.21	782	8594	519
0.74	11.21	629	7878	430
0.74	10.08	558	8953	387
0.74	8.96	493	10274	344
0.74	7.84	452	11560	307
0.74	6.72	421	12567	296
0.74	5.60	397	12350	288
0.74	4.48	338	10499	247
0.74	3.36	254	6211	173
0.74	2.24	121	939	40
Чорнобильська АЕС. Дані радіаційної розвідки від 02.01.87р.				
3.74	11.21	2539	12174	1614
3.36	11.21	2724	34874	1850
2.99	11.21	1698	10916	1034
2.61	11.21	1253	8077	724
2.24	11.21	1123	8562	690
1.87	11.21	875	6896	546
1.49	11.21	643	5046	403
1.12	11.21	521	3525	338
0.74	11.21	479	4251	316
0.74	10.08	401	3618	264
0.74	8.96	339	2433	228
0.74	7.84	278	1717	175
0.74	6.72	218	1440	132
0.74	5.60	194	1379	118
0.74	4.48	175	1404	104
0.74	3.36	164	1553	89
0.74	2.24	134	1071	54
Чорнобильська АЕС. Дані радіаційної розвідки від 31.01.87р.				
3.74	11.21	1809	7789	1088
3.36	11.21	1849	16581	1188
2.99	11.21	1222	5587	695
2.61	11.21	889	4135	473
2.24	11.21	804	4353	451
1.87	11.21	624	3480	357
1.49	11.21	456	2523	260

Продовження додатка Г

1	2	3	4	5
1.12	11.21	392	2632	230
0.74	11.21	340	3195	219
0.74	10.08	286	2707	184
0.74	8.96	236	1861	154
0.74	7.84	200	1080	118
0.74	6.72	149	1148	77

0.74	5.60	132	1211	68
0.74	4.48	124	1219	62
0.74	3.36	119	1325	55
0.74	2.24	104	554	32

Категорія стійкості атмосфери

Швидкість (V_{10}) вітру на висоті 10 м, м/сек.	Час доби						
	день			ніч			
	хмарність						
	ясно	хмарно	пасмурно	ясно	пасмурно		
$V_{10} < 2$			Конвекція				
$2 < V_{10} < 3$							Інверсія
$3 < V_{10} < 5$							
$5 < V_{10} < 6$							
$V_{10} > 6$							

Додаток Д

Швидкість (м/сек.) переносу переднього фронту хмари зараженого повітря в залежності від швидкості вітру

Стан атмосфери	Швидкість (V_{10}) вітру на висоті 10 м, м/сек.					
	<2	2	3	4	5	>6
Конвекція	2	2	5	-	-	-
Ізотермія	-	-	5	5	5	10
Інверсія	-	5	10	10	-	-

Додаток Е

Додаток Е. 1

Розміри прогнозованих зон зараження місцевості по сліду хмари при аварії на РНО (конвекція, швидкість переносу хмари 2 м/сек.)

Вихід активності, %	Індекси зони	Тип реактору					
		РБМК-1000			ВВЭР-1000		
		Довжи-на, км	Шири-на, км	Площа, км ²	Довжи-на, км	Шири-на, км	Площа, км ²
3	М	62,5	12,1	595	82,5	16,2	1050
3	А	14,1	2,75	30,4	13,0	2,22	22,7
3	Б	-	-	-	-	-	-
3	В	-	-	-	-	-	-
3	Г	-	-	-	-	-	-
10	М	140	29,9	3290	185	40,2	5850
10	А	28,0	5,97	131	39,4	6,81	211
10	Б	6,88	0,85	4,52	-	-	-
10	В	-	-	-	-	-	-
10	Г	-	-	-	-	-	-
30	М	249	61,8	12100	338	82,9	22000
30	А	62,6	12,1	595	82,8	15,4	1000
30	Б	13,9	2,71	29,6	17,1	2,53	34,0
30	В	6,96	0,87	4,48	-	-	-
30	Г	-	-	-	-	-	-
50	М	324	81,8	20800	438	111	384400
50	А	88,3	18,1	1260	123	24,6	2380
50	Б	18,3	3,64	52,3	20,4	3,73	59,8
50	В	9,21	1,57	11,4	8,87	1,07	7,45
50	Г	-	-	-	-	-	-

Додаток Е. 2

Розміри прогнозованих зон зараження місцевості по сліду хмари при аварії на РНО (ізотермія, швидкість переносу хмари 5 м/сек.)

Вихід активності, %	Ін-декс зони	Тип реактора					
		РБМК-1000			ВВЭР-1000		
		Довжи-на, км	Шири-на, км	Площа, км ²	Довжи-на, км	Шири-на, км	Площа, км ²
3	М	145	8,42	959	74,5	3,70	216
3	А	34,1	1,74	42,6	9,9	0,29	2,27
10	М	270	18,2	3860	155	8,76	1070
10	А	75	3,92	231	29,5	1,16	26,8
10	Б	17,4	0,69	9,40	-	-	-
10	В	5,8	0,11	0,52	-	-	-
30	М	418	31,5	10300	284	18,4	4110
30	А	145	8,42	959	74,5	3,51	205
30	Б	33,7	1,73	45,8	9,9	0,28	2,21
30	В	17,6	0,69	9,63	-	-	-
50	М	583	42,8	19600	379	25,3	7530
50	А	191	11,7	1760	100	5,24	411
50	Б	47,1	2,4	88,8	16,6	0,62	8,15
50	В	23,7	1,1	20,5	-	-	-
50	Г	9,41	0,27	2,05	-	-	-

Додаток Е. 3

Розміри прогнозованих зон зараження місцевості по сліду хмари при аварії на РНО (ізотермія, швидкість переносу хмари 10 м/сек.)

Вихід активності, %	Ін-декс зони	Тип реактора					
		РБМК-1000			ВВЭР-1000		
		Довжи-на, км	Шири-на, км	Площа, км ²	Довжи-на, км	Шири-на, км	Площа, км ²
3	М	135	5,99	635	53	1,87	78
3	А	26	1,04	21	5,22	0,07	0,31
10	М	272	14	3080	10	5,33	460
10	А	60	2,45	115	19	0,58	8,75
10	Б	11	0,32	3,02	-	-	-
30	М	482	28	10700	274	13	2980
30	А	135	5,99	635	53	1,87	78
30	Б	25	1,02	20	5,05	0,07	0,29
30	В	12	1,02	20	5,05	0,07	0,29
50	М	1200	0,33	3,14	-	-	-
50	А	619	37	18300	369	19	5690
50	Б	36	1,51	42	10	0,27	2,18
50	В	17	0,59	8,38	-	-	-

Додаток Е. 4

Розміри прогнозованих зон зараження місцевості по сліду хмари при аварії на РНО (інверсія, швидкість переносу хмари 5 м/сек.)

Вихід активності, %	Індекси зони	Тип реактора					
		РБМК-1000			ВВЭР-1000		
		Довжина, км	Ширина, км	Площа, км ²	Довжина, км	Ширина, км	Площа, км ²
3	М	126 (1/138)	3,63	359	17 (28/48)	0,61	8,24
10	М	241 (8/249)	7,86	1490	76 (13/89)	2,58	154
10	А	52 (16/69)	1,72	71	-	-	-
30	М	430 (6/436)	14	4760	172 (10/182)	5,08	686
30	А	126 (13/139)	3,63	359	17 (28/45)	0,61	8,25
50	М	561 (5/566)	18	8280	204 (8/212)	6,91	1110
50	А	168 (10/178)	4,88	644	47 (17/64)	1,52	56
50	Б	15 (27/42)	0,41	4,95	-	-	-

Додаток Е. 5

Розміри прогнозованих зон зараження місцевості по сліду хмари при аварії на РНО (інверсія, швидкість переносу хмари 10 м/сек.)

Вихід активності, %	Індекси зони	Тип реактора					
		РБМК-1000			ВВЭР-1000		
		Довжина, км	Ширина, км	Площа, км ²	Довжина, км	Ширина, км	Площа, км ²
3	М	115	3,04	275	-	-	-
10	М	239	6,81	1280	73	2,1	118
10	А	42	1,18	38	-	-	-
30	М	441	12	4470	162	4,4	558
30	А	115	3,04	275	-	-	-
50	М	579	17	7960	224	6,3	1410
50	А	156	4,24	519	33	0,95	25

Додаток Е. 6

Час початку формування сліду після аварії на РНО, час.

Відстань від АЕС, км	Категорія ВСП				
	Конвекція	Ізотермія		Інверсія	
	середня швидкість переносу хмари, м/сек.				
	2	5	10	5	10
5	0,5	0,3	0,1	0,3	0,1
10	1,0	0,5	0,3	0,5	0,3
20	2,0	1,0	0,5	1,0	0,5
30	3,0	1,5	0,8	1,5	0,3
40	4,0	2	1	2	1
50	6,0	2,5	1,2	2,5	1,3

60	6,5	3	1,5	3	1,5
70	7,5	4	2	4	2
80	8,0	4	2	4	2
90	8,5	4,5	2,2	4,5	2,5
100	9,5	5	2,5	5	3
150	14	7,5	3,5	8	4
200	19	10	5	10	5
250	23	12	6	13	6,5
300	28	15	6,5	16	8
350	32	17	9	18	9
400	37	19	10	21	11
450	41	22	11	23	12
500	46	24	12	28	13
600	53	29	15	31	16
700	61	34	17	36	18
800	72	38	20	41	20
900	82	43	22	46	23
1000	89	48	24	50	26

Для визначення $R_{узн}$ використовуємо вираз:

$$R_{узн} = R_{у\text{внеш}} \sqrt{\frac{R_x}{R_{x\text{внеш}}} - \left(\frac{R_x}{R_{x\text{внеш}}}\right)^2}.$$

Додаток Е. 7

Розміри прогнозованих зон забруднення місцевості на сліді хмари під час аварії АЕС (Категорія стійкості А, швидкість вітру 2 м/с)

Вихід активності, %	Індекс зони	Тип реактора					
		РБМК-1000			ВВЕР-1000		
		Довжина, км	Ширина, км	Площа, км ²	Довжина, км	Ширина, км	Площа, км ²
3	М	62,6	12,1	595	82,8	16,2	1050
3	А	14,1	2,75	30,4	13,0	2,22	22,7
3	Б	—	—	—	—	—	—
3	В	—	—	—	—	—	—
3	Г	—	—	—	—	—	—
10	М	140	29,9	3290	185	40,2	5850
10	А	28,0	5,97	131	39,4	6,81	211
10	Б	6,88	0,85	4,62	—	—	—
10	В	—	—	—	—	—	—
10	Г	—	—	—	—	—	—
30	М	249	61,8	12100	338	82,9	22000
30	А	62,6	12,1	595	82,8	15,4	1000
30	Б	13,9	2,71	29,6	17,1	2,53	24,0
30	В	6,96	0,87	4,48	—	—	—

30	Г	—	—	—	—	—	—
50	М	324	81,8	20800	438	111	38400
50	А	88,3	18,1	1260	123	24,6	2380
50	Б	18,3	3,64	52,3	20,4	3,73	59,8
50	В	9,21	1,57	11,4	8,87	1,07	7,45
50	Г	—	—	—	—	—	—

Додаток Е. 8

Розміри прогнозованих зон забруднення місцевості на сліді хмари під час аварії АЕС (Категорія стійкості Д, швидкість вітру 5 м/с)

Вихід активності, %	Індекс зони	Тип реактора					
		РБМК-1000			ВВЕР-1000		
		Довжина, км	Ширина, км	Площа, км ²	Довжина, км	Ширина, км	Площа, км ²
3	М	145	8,42	959	74,5	3,70	216
3	А	34,1	1,74	46,6	9,9	0,29	2,27
3	Б	—	—	—	—	—	—
3	В	—	—	—	—	—	—
3	Г	—	—	—	—	—	—
10	М	270	18,2	3860	155	8,76	1070
10	А	75,0	3,92	231	29,5	1,16	26,8
10	Б	17,4	0,69	9,40	—	—	—
10	В	5,80	0,11	0,52	—	—	—
10	Г	—	—	—	—	—	—
30	М	418	31,5	10300	284	18,4	4110
30	А	145	8,42	959	74,5	3,51	205
30	Б	33,7	1,73	45,8	9,90	0,28	2,21
30	В	17,6	0,69	9,63	—	—	—
30	Г	—	—	—	—	—	—
50	М	583	42,8	19600	379	25,3	7530
50	А	191	11,7	1760	100	5,24	411
50	Б	47,1	2,40	88,8	16,6	0,62	8,15
50	В	23,7	1,10	20,5	—	—	—
50	Г	9,41	0,27	2,05	—	—	—

Розміри прогнозованих зон забруднення місцевості на сліді хмари під час аварії АЕС (Категорія стійкості Д, швидкість вітру 10 м/с)

Вихід активності, %	Індекс зони	Тип реактора					
		РБМК-1000			ВВЕР-1000		
		Довжина, км	Ширина, км	Площа, км ²	Довжина, км	Ширина, км	Площа, км ²
3	М	135	5,99	635	53	1,87	78
3	А	26	1,04	21	5,22	0,07	0,31
3	Б	—	—	—	—	—	—
3	В	—	—	—	—	—	—
3	Г	—	—	—	—	—	—
10	М	272	14	3080	110	5,33	460
10	А	60	2,45	115	19	0,58	8,75
10	Б	11	0,32	3,02	—	—	—
10	В	—	—	—	—	—	—
10	Г	—	—	—	—	—	—
30	М	482	28	10700	274	13	2980
30	А	135	5,99	635	53	1,87	78
30	Б	25	1,02	20	5,05	0,07	0,29
30	В	12	0,33	3,14	—	—	—
30	Г	—	—	—	—	—	—
50	М	619	37	18300	369	19	5690
50	А	184	8,71	1260	79	3,22	201
50	Б	36	1,51	42	10	0,27	2,18
50	В	17	0,59	8,38	—	—	—
50	Г	—	—	—	—	—	—

Розміри прогнозованих зон забруднення місцевості на сліді хмари під час аварії АЕС (Категорія стійкості F, швидкість вітру 5 м/с)

Вихід активності, %	Індекс зони	Тип реактора					
		РБМК-1000			ВВЕР-1000		
		Довжина, км	Ширина, км	Площа, км ²	Довжина, км	Ширина, км	Площа, км ²
3	М	126 (11/138)	3,63	359	17 (28/46)	0,61	8,24
3	А	—	—	—	—	—	—
3	Б	—	—	—	—	—	—
3	В	—	—	—	—	—	—
3	Г	—	—	—	—	—	—
10	М	241 (8/249)	7,86	1490	76 (13/89)	2,58	154
10	А	52 (16/69)	1,72	71	—	—	—

10	Б	—	—	—	—	—	—
10	В	—	—	—	—	—	—
10	Г	—	—	—	—	—	—
30	М	430 (6/436)	14	4760	172 (10/183)	5,08	686
30	А	126	3,63	359	17 (28/46)	0,61	8,25
30	Б	—	—	—	—	—	—
30	В	—	—	—	—	—	—
30	Г	—	—	—	—	—	—
50	М	561 (5/567)	18	8280	204 (8/212)	6,91	1110
50	А	168 (10/179)	4,88	644	47 (17/64)	1,52	56
50	Б	15 (27/43)	0,41	4,95	—	—	—
50	В	—	—	—	—	—	—
50	Г	—	—	—	—	—	—

Додаток Е. 11

Розміри прогнозованих зон забруднення місцевості на сліді хмари під час аварії АЕС (Категорія стійкості F, швидкість вітру 10 м/с)

Вихід активно- сті, %	Індекс зони	Тип реактора					
		РБМК-1000			ВВЕР-1000		
		Довжи- на, км	Ширина, км	Площа, км ²	Довжи- на, км	Ширина, км	Площа, км ²
3	М	115	3,04	275	—	—	—
3	А	—	—	—	—	—	—
3	Б	—	—	—	—	—	—
3	В	—	—	—	—	—	—
3	Г	—	—	—	—	—	—
10	М	239	6,81	1280	73	2,10	118
10	А	42	1,18	38	—	—	—
10	Б	—	—	—	—	—	—
10	В	—	—	—	—	—	—
10	Г	—	—	—	—	—	—
30	М	441	12	4470	162	4,40	558
30	А	115	3,04	275	—	—	—
30	Б	—	—	—	—	—	—
30	В	—	—	—	—	—	—
30	Г	—	—	—	—	—	—
50	М	579	17	7960	224	6,30	1410
50	А	156	4,24	519	33	0,95	25
50	Б	—	—	—	—	—	—
50	В	—	—	—	—	—	—
50	Г	—	—	—	—	—	—

Додаток Е. 12

Розміри прогнозованих зон забруднення місцевості на сліді хмари під час аварії АЕС(Категорія стійкості Д, швидкість вітру 5 м/с)

Вихід активності, %	Індекс зони	Тип реактора					
		РБМК-1000			ВВЭР-1000		
		Довжи-на, км	Ширина, км	Площа, км ²	Довжи-на, км	Ширина, км	Площа, км ²
3	М	115 (13/128)	3,04	275	—	—	—
3	А	—	—	—	—	—	—
3	Б	—	—	—	—	—	—
3	В	—	—	—	—	—	—
3	Г	—	—	—	—	—	—
10	М	239 (10/249)	6,81	1280	73 (15/88)	2,10	118
10	А	42 (19/61)	1,18	38	—	—	—
10	Б	—	—	—	—	—	—
10	В	—	—	—	—	—	—
10	Г	—	—	—	—	—	—
30	М	441 (6/447)	12	4470	162 (11/173)	4,40	558
30	А	115	3,04	275	—	—	—
30	Б	—	—	—	—	—	—
30	В	—	—	—	—	—	—
30	Г	—	—	—	—	—	—
50	М	579 (6/585)	17	7960	224 (10/234)	6,30	1410
50	А	156 (11/167)	4,24	519	33 (22/56)	0,95	25
50	Б	—	—	—	—	—	—
50	В	—	—	—	—	—	—
50	Г	—	—	—	—	—	—

Додаток Е. 13

Коефіцієнт $K_{\beta t}$, що враховує час подолання вісі сліду й кут між віссю й маршрутом руху (під час аварії ЯЕР типу РБМК)

Час після аварії (t), год	Кут між віссю сліду й маршрутом руху, град			
	10	30	60	90
0,5	6,72	2,33	1,34	1,16
1,0	5,75	2,00	1,15	1,00
1,5	5,21	1,80	1,04	0,90
2,0	4,83	1,67	0,96	0,83
3,0	4,32	1,50	0,86	0,75
4,0	3,97	1,38	0,79	0,69
5,0	3,72	1,29	0,74	0,64
6,0	3,51	1,22	0,70	0,61
8,0	3,20	1,11	0,64	0,55
10,0	2,97	1,03	0,59	0,51
12,0	2,79	0,97	0,56	0,48
18,0	2,42	0,81	0,48	0,42
24,0	2,17	0,75	0,43	0,37
36,0	1,86	0,61	0,37	0,32
48,0	1,65	0,57	0,33	0,28
72,0	1,39	0,48	0,28	0,24

Коефіцієнт $K_{\beta t}$, що враховує час подолання вісі сліду й кут між віссю й маршрутом руху (під час аварії ЯЕР типу ВВЕР)

Час після аварії (t), год	Кут між віссю сліду й маршрутом руху, град			
	10	30	60	90
0,5	6,77	2,35	1,35	1,17
1,0	5,75	2,00	1,15	1,00
1,5	5,18	1,80	1,03	0,90
2,0	4,79	1,66	0,96	0,83
3,0	4,26	1,48	0,85	0,74
4,0	3,90	1,35	0,78	0,67
5,0	3,63	1,26	0,72	0,63
6,0	3,42	1,19	0,68	0,59
8,0	3,10	1,07	0,62	0,53
10,0	2,87	0,99	0,57	0,49
12,0	2,69	0,93	0,53	0,46
18,0	2,31	0,80	0,46	0,40
24,0	2,06	0,71	0,41	0,35
36,0	1,74	0,60	0,35	0,30
48,0	1,54	0,53	0,31	0,26
72,0	1,29	0,44	0,26	0,22

Час початку формування сліду (t_f) після аварії АЕС, год

Відстань від АЕС, км	Категорія стійкості атмосфери				
	A	Д		F	
	Середня швидкість вітру, м/с				
	2	5	10	5	10
5	0,5	0,3	0,1	0,3	0,1
10	1,0	0,5	0,3	0,5	0,3
20	2,0	1,0	0,5	1,0	0,5
30	3,0	1,5	0,8	1,5	0,8
40	4,0	2,0	1,0	2,0	1,0
50	5,0	2,5	1,2	2,5	1,3
60	6,5	3,0	1,5	3,0	1,5
70	7,5	4,0	2,0	4,0	2,0
80	8,0	4,0	2,0	4,0	2,0
90	8,5	4,5	2,2	4,5	2,5
100	9,5	5,0	2,5	5,0	3,0
150	14	7,5	3,5	8,0	4,0
200	19	10	5,0	10	5,0
250	23	12	6,0	13	6,5
300	28	15	7,5	16	8,0
350	32	17	9,0	18	9,0
400	37	19	10	21	11
450	41	22	11	23	12
500	46	24	12	26	13
600	53	29	15	31	16
700	61	34	17	36	18
800	72	38	20	41	20
900	82	43	22	46	23
1000	89	8	24	50	26

Додаток Е. 16

Середні значення кратності ослаблення випромінювання від забрудненої місцевості ($K_{осл}$)

Найменування сховищ і транспортних засобів або умови розташування (дії) військ (населення)	$K_{осл}$
Відкрите розташування на місцевості	1
Фортифікаційні спорудження	
Заражені відкриті траншеї, окопи, щілини	3
Деактивовані (або відкриті на зараженій місцевості) траншеї, окопи, щілини	20
Перекриті щілини	50
Бліндажі й сховища із вхідним блоком з лісоматеріалів	500
Бліндажі й сховища із входом типу «лаз»	5000
Транспортні засоби	
Автомобілі й автобуси	2
Бронетранспортери	4
Танки	10
Літаки й вертольоти	1,5
Залізничні платформи	1,5
Криті вагони	2
Пасажирські вагони (локомотиви)	3
Війська під час рухів (дій) у штатної техніки	
Артилерійські, інженерні й тилові частини (підрозділи)	2
Зенітно-ракетні й розвідувальні частини (підрозділи)	3
Мотострілкові частини (підрозділи)	4
Танкові частини, ракетні частини	5
Танкові підрозділи	8
Війська під час розташування у очікуваних районах і районах зосередження	
Район, обладнаний протягом 2 год	5
Район, обладнаний протягом 6 год	10
Район, обладнаний протягом 12 год і більше	20
Промислові й адміністративні будинки	
Виробничі одноповерхові будинки (цехи)	7
Виробничі й адміністративні триповерхові будинки	6
Житлові кам'яні будинки	
Одноповерхові	10
Підвал	40
Двоповерхові	15
Підвал	100
Триповерхові	20
Підвал	400
П'ятиповерхові	27
Підвал	400