

УДК 681.5.01: 629.52.7

Vasyl M. Trysnyuk, Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher
ORCID ID: 0000-0001-9920-4879 *e-mail*: trysnyuk@ukr.net

Viktor O. Shumeyko, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher
ORCID ID: 0000-0002-0285-4566 *e-mail*: shum1983@ukr.net

Taras V. Trysnyuk, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher
ORCID ID: 0000-0002-3672-8242 *e-mail*: taras24t@gmail.com

Vasyl M. Marushchak, postgraduate
ORCID ID: 0000-0002-6935-9949 *e-mail*: stydjaga.fo.ru@gmail.com

Institute of Telecommunications and Global Information Space of NASU, Kyiv, Ukraine

MONITORING OF RADIOACTIVE POLLUTION OF THE SITE AND ELIMINATION OF THE CONSEQUENCES OF NATURAL AND TECHNOGENIC DISASTERS

***Abstract.** The article proposes an urgent task to increase the level of environmental safety of radioactively contaminated areas. The main tasks are to develop new methods of environmental monitoring; study of migration processes of radioactive elements in the soil cover in order to develop predictive models for timely identification of areas at risk of contamination; establishing the relationships between the state of soil contamination by radionuclides and their genesis and identifying patterns of pollutant distribution in the study environment. The urgency of the topic is due to the requirements of advanced automated systems for monitoring the radiation situation and ACS to reduce the processing time of data on radioactive contamination of the area and increase the reliability of the results of radiation detection. The aim of the work is to separate the tasks that are allocated in the development of a unified system of methods and algorithms for processing information about radioactive contamination in automated radiation monitoring systems, dangerous in terms of radiation. The paper formulates the problem of eliminating the consequences of natural and man-made disasters in Ukraine. The analysis of problems of management of technogenic safety where the emergency situation is fixed is carried out. A formal description of the studied system and its environment is obtained, based on the principles of the systems approach. The classification of sources of emergencies based on the causes, different types of objects of damage depending on the nature of behavior in extreme conditions, different types of protection resources that implement the necessary protective measures. The direct and inverse problems of finding the optimal plan are considered. The selection of objects for a direct task is carried out in order according to their priority. When solving the inverse problem, the selection of objects is carried out until the specified level of system effect, which accumulates in the selection process. Information on sources of radioactive contamination and meteorological information are used in forecasting.*

***Key words:** natural disasters; man-made disasters; target efficiency*

В.М. Триснюк, В.О. Шумейко, Т.В. Триснюк, В.М. Марущак

Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України,
м. Київ, Україна

МОНІТОРИНГ РАДІОАКТИВНОГО ЗАБРУДНЕННЯ МІСЦЕВОСТІ ТА ЛІКВІДАЦІЇ НАСЛІДКІВ ПРИРОДНИХ ТА ТЕХНОГЕННИХ КАТАСТРОФ

***Анотація.** У статті запропоновано актуальне завдання підвищення рівня екологічної безпеки радіоактивно забрудненої місцевості. Основні завдання полягають у розробленні нових методів екологічного моніторингу; дослідженні процесів міграції радіоактивних елементів у ґрунтовому покриві з метою розроблення прогностичних моделей для своєчасного виявлення територій, які перебувають у зоні ризику забруднення; встановленні залежностей між станом забруднення ґрунтів радіонуклідами та їх генезисом і виявленні закономірностей поширення полютанта у досліджуваному середовищі. Актуальність теми обумовлена вимогами перспективних автоматизованих систем контролю радіаційної обстановки і АСУ по скороченню часу обробки даних про радіоактивне забруднення місцевості і підвищенню достовірності результатів виявлення радіаційної обстановки. Мета роботи полягає в розділенні завдань, які виділяються при розробці єдиної системи методик і алгоритму обробки інформації про радіоактивне забруднення місцевості в автоматизованих системах контролю радіаційної обстановки. В процесі досліджень вдосконалено методіку формування оцифрованого зображення поля радіоактивного забруднення місцевості, що використовується для відображення зон забруднення, виявлення районів, небезпечних в радіаційному відношенні. У роботі сформульована постановка задачі ліквідації наслідків природних та техногенних катастроф на території України. Проведений аналіз проблем управління техногенною безпекою на території, де зафіксована надзвичайна ситуація. Отриманий формальний опис досліджуваної системи і оточуючого її середовища, виходячи із принципів системного підходу. Наведена класифікація джерел надзвичайних ситуацій, виходячи із причин виникнення, різних видів об'єктів ураження в залежності від характеру поведінки в екстремальних умовах, різних видів ресурсів захисту, які реалізують необхідні захисні заходи. Розглянуті пряма та обернена задачі пошуку оптимального плану. Відбір об'єктів для прямої задачі проводиться у відповідності до їхньої пріоритетності. При вирішенні оберненої задачі відбір об'єктів проводиться до досягнення заданого рівня системного ефекту, що накопичується в процесі відбору. При прогнозуванні використовуються зведення про джерела радіоактивного забруднення і метеорологічна інформація.*

***Ключові слова:** природні катастрофи; техногенні катастрофи; цільова ефективність*

DOI: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2022.2.35-46>

Вступ

Питання безперервного контролю радіаційної обстановки (РО) і своєчасного виявлення радіоактивного забруднення місцевості (РЗМ) продовжують залишатися актуальними і нині. Це обумовлено двома чинниками: збільшенням кількості об'єктів ядерної енергетики, як джерела дешевшої енергії, і активізацією сил міжнародного екстремізму, що здійснюють масовані

терористичні акти по всьому світу. У разі загострення міжнародного стану не можна унеможливити масову атаку 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 зазнають радіоактивного забруднення одночасно від декількох джерел. Виявлення радіоактивного забруднення місцевості буде першим завданням ліквідації наслідків подібних ситуацій.

Нині виявлення РЗМ може здійснюватися за допомогою прогнозу і на основі фактичних даних радіаційної розвідки і спостереження [1].

При прогнозуванні використовуються зведення про джерела 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 початкових даних. Як показує практика, дані прогнозу не завжди задовільно відповідають реальній радіаційній обстановці.

Чинними керівними документами пропонується обов'язкове уточнення прогнозу даними розвідки. Проте нині відсутнє практично реалізоване програмне забезпечення для автоматизованих систем контролю радіаційної обстановки і АСУ, що дозволяють комплексно вирішувати задачу щодо виявлення і оцінки 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, які 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 початковими даними до моменту їх активації і далі протягом аварії. Найбільш сучасною і ефективною для вирішення цього завдання на об'єктовому рівні являється інформаційно-вимірвальна система (ІВС) «Кільце», яка є складовою частиною системи радіаційного контролю (СРК) на АЕС і призначена для безперервного контролю радіаційної обстановки. У 2001 році закінчена дослідна експлуатація цієї системи, а з 2002 року вона прийнята на озброєння Запорізькою АЕС.

У разі виявлення радіоактивного забруднення місцевості за фактичними даними через відсутність практично реалізованого програмного забезпечення для цих систем можна говорити лише про певні наукові опрацювання завдання. Деякі з причин такого стану справ очевидні. Це невідповідність, тою чи іншою мірою, між фактичним РЗМ і модельним, неповна і неточна інформація про джерела радіоактивного забруднення, значні помилки визначення потужності дози випромінювання (ПДВ) приладами радіаційної розвідки, великий об'єм оброблюваних даних, що мають розкид за часом вимірів, і так далі.

Найявне математичне забезпечення для обробки інформації про РЗМ в автоматизованих системах контролю РО, на наш погляд, має істотний недолік.

Апарат оцінки РЗМ в АСКРО створювався після аварії на Чорнобильській АЕС і тому значною мірою орієнтований на специфіку завдань, що вирішуються в системах контролю радіаційної обстановки.

Різні за цільовим призначенням автоматизовані системи управління [2], контролю РО [3] і Єдина автоматизована система виявлення і оцінки масштабів і наслідків застосування зброї масового ураження [2] передбачають обробку даних про РЗМ і відповідну інформаційну взаємодію. У зв'язку з цим, математичне і програмне забезпечення обробки інформації про РЗМ в цих системах повинні були розроблятися на єдиній концепції, що забезпечує тотожність отримуваних результатів. На жаль, цього не сталося.

Таким чином, виникає нове наукове завдання розробки методик і алгоритмів обробки даних про РЗМ в АСКРО і АСУ при малій щільності точок контролю.

Виклад основного матеріалу дослідження

Питання про необхідну щільність точок контролю радіаційної обстановки заслуговує окремого розгляду. Так, дослідження, проведені в [3], показали, що оптимальний об'єм інформації про фактичну радіаційну обстановку (РО) забезпечується за наявності одного виміру на 3–6 кв. км на регіональному рівні і на 25–30 кв. км – в державних органах управління. Ці дослідження проводилися на базі тих, що повністю відповідають модельним, і не враховували погрішності роботи датчиків. Інші дослідження в цій області [3], проведені вже з урахуванням помилок виміру ПДВ, показали, що на регіональному рівні необхідна щільність складе 2,3–2,9 кв. км, а в масштабі держави – 3,2–4,0 кв. км на одну точку.

Нині прийнято [4], що при веденні радіаційної розвідки один вимір повинен проводитися на площі 3–6 кв. км. Слід зазначити, що визначення необхідної щільності точок контролю проводилося з розрахунку на використання методу інтерполяції. Застосування інших методів [4] для відновлення характеристик радіаційного поля, топологія якого близька до модельного, показало можливість виявлення фактичного РЗМ за наявності одного виміру на 10 кв. км. До таких методів відноситься метод лінійної оптимальної інтерполяції (МЛОІ), що дозволяє підвищувати достовірність інформації в процесі обробки.

Нині досить добре опрацювали 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, які 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 [5]. 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 (пограничному) шарі атмосфери в порівнянні з високими шарами атмосфери, де відбувається поширення радіоактивної хмари ядерного вибуху.

З огляду на вищесказане, можна зробити висновок про те, що методики прогнозування радіоактивного забруднення місцевості, які 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.

Основними завданнями вимірювального моніторингу навколо АЕС є [5]:

- 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 щодо дії на джерела радіоактивного забруднення на основі інформації, отриманої в результаті виконання попередніх завдань.

Деякі АЕС частково обладнані датчиками, які, досягши потужності дози гамма-випромінювання порогового 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), викликано 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.

Модель поширення радіоактивної хмари в пограничному шарі атмосфери дозволяє розрахувати потужність дози випромінювання на сліді радіоактивної хмари при аварії ядерного реактора. В основу моделі покладені наступні залежності.

$$\dot{X}_1 = \frac{(1 - 0.9\tau^{-0.18})W_{\text{эл}}\eta R}{V^{\beta} X^{\gamma}} K \exp\left(-\frac{Y^2}{2\sigma_y^2}\right), \quad (1)$$

де \dot{X}_1 – потужність дози випромінювання на сліді радіоактивної хмари за годину після аварії на АЕС, Р/ч;

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

$W_{\text{эл}}$ – 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 хмарою, а 75% викиду – струмись. Для ядерних реакторів ВВЕР 75% викиду – хмара і 25% – струмись;

R – коефіцієнт, величина якого залежить від типу ядерного реактора і категорії стійкості атмосфери. Значення R наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Значення коефіцієнта R

Тип ядерного реактора	Категорія стійкості атмосфери		
	Конвекція (A)	Ізотермія (D)	Інверсія (F)
РБМК	0,01104	0,11435	0,17282
ВВЕР	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

$$K = 0.5 \left[1 + \operatorname{erf} \left(\sqrt{K_1} \ln(X/X_{50}) \right) \right] \quad (2)$$

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

$\operatorname{erf} \left(\sqrt{K_1} \ln(X/X_{50}) \right)$ – 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

$$\sigma_y = \frac{C_3 X}{\sqrt{1 + 0.1X}} \quad (3)$$

де C_3 – критерій Пасквілла, величина якого залежить від категорії стійкості атмосфери.

Військові джерела пов'язані з використанням засобів збройного протиборства під час прикордонних конфліктів і в локальних війнах, а також у стратегічних планах глобальної конфронтації. Серед цих засобів розрізняються такі:

- звичайна і високоточна зброя;
- боєприпаси об'ємного вибуху, запальні, фугасні, осколкові, кулькові, кумулятивні і бетонобійні;
- ядерна зброя;
- хімічна зброя;
- бактеріологічна зброя.

У загальному випадку можливий взаємозумовлений комбінований прояв різних джерел безпеки.

За несприятливими наслідками розрізняються НС, що призводять до людських жертв, збитків господарським об'єктам та ураження природного

середовища. Залежно від характеру поведінки в екстремальних умовах спостерігаються різні види об'єктів ураження.

Серед населення розрізняються:

- непрацездатні, включаючи дітей, старих і тяжкохворих;
- працівники виробничої сфери;
- працівники сфери послуг;
- невоєнізовані формування;
- воєнізовані формування (Збройні сили України, Національна гвардія України, Прикордонна служба України, Державна служба України з надзвичайних ситуацій).

Серед господарських об'єктів можна виділити такі:

- об'єкти критичної інфраструктури;
- об'єкти виробничої сфери;
- об'єкти сфери послуг;
- історико-культурні цінності;
- науково-технічну документацію;
- коштовне технологічне обладнання.

У природному середовищі вирізняються:

- представники тваринного світу (фауна);
- представники рослинного світу (флора);
- водні джерела;
- корисні копалини;
- заповідні зони.

За протидіючими чинниками розрізняються НС, що спричиняють використання різних видів ресурсів захисту, які реалізують необхідні захисні заходи.

Розвідувально-контролюючі ресурси призначені для ведення розвідки і контролю за станом і зміною обстановки в зонах можливого чи реального прояву уражаючих впливів за допомогою військових формувань:

- інженерної розвідки для виявлення меж і ступеня руйнування житлових будинків і виробничих споруд, визначення вторинних наслідків уражаючих впливів, знаходження місць перебування потерпілих і підходів до них;
- хімічної розвідки для виявлення меж хімічного зараження, визначення концентрації отруйних речовин і напрямку поширення зараженого повітря, спостереження і лабораторного контролю за зміною хімічної обстановки;
- радіаційної розвідки для виявлення меж і рівнів радіоактивного забруднення, встановлення режимів радіаційного захисту, спостереження і дозиметричного контролю за зміною радіаційної обстановки;
- медичної розвідки для виявлення постраждалих людей, визначення їхнього стану й умов надання першої медичної і лікарської допомоги;
- ветеринарної та агротехнічної розвідки для виявлення постраждалих тварин і рослин, визначення їхнього стану й умов надання ветеринарної й агротехнічної допомоги.

Інженерно-технічні ресурси спрямовані на зменшення збитків господарським об'єктам (захист техносфери) за допомогою формувань:

- інженерного захисту для підвищення фізичної стійкості виробничих споруд і житлових будинків, будівництва й обслуговування захисних споруд, розчищення проходів і розбирання завалів, облаштування під'їзних шляхів і маршрутів евакуації;

- хімічного захисту для забезпечення населення індивідуальними засобами захисту, локалізації вогнищ викиду й обваловки місць розливу отруйних речовин, дегазації прилягаючої місцевості, приміщень, устаткування, одягу і продуктів харчування;

- радіаційного захисту для забезпечення населення протирадіаційними сховищами, організації йодної профілактики, збору і поховання небезпечних радіоактивних осколків, дезактивації прилягаючої місцевості;

- пожежного захисту для забезпечення господарських об'єктів засобами автоматичної сигналізації і пожежогасіння, локалізації і ліквідації пожеж у житлових будинках і виробничих спорудах, боротьби з лісовими, степовими, торф'яними і підземними пожежами;

- технічного захисту для підвищення безпеки технологічного обладнання за допомогою засобів автоматичного контролю і відключення, виконання профілактичних і ремонтно-відновлювальних робіт на комунально-енергетичних мережах, а також для ремонту транспортної, інженерної, протипожежної та іншої техніки.

Медико-біологічні ресурси спрямовані на зменшення негативних наслідків для населення, тварин і рослин (захист біосфери) за допомогою формувань:

- медичного захисту для надання першої медичної і лікарської допомоги постраждалим безпосередньо в зонах ураження, посадки їх на транспорт і супроводу під час евакуації;

- лікарського захисту для надання спеціалізованої медичної допомоги і стаціонарного лікування потерпілих за межами зон ураження в клініках, лікарнях і шпиталях;

- епідеміологічного захисту для санітарного очищення зон ураження, профілактики і лікування інфекційних захворювань;

- ветеринарного захисту для санітарної обробки і лікування тварин, локалізації і ліквідації епізоотій;

- агротехнічного захисту для знезаражування рослин і фуражу, локалізації і ліквідації епіфітотій.

Транспортно-комунікаційні ресурси забезпечують переміщення об'єктів біо- і техносфери усередині і поза зонами ураження за допомогою різних видів транспорту і засобів зв'язку. Для цього залучаються формування:

- забезпечення евакуації потерпілих;

- забезпечення передислокації формувань;

- забезпечення підвозу матеріально-технічних засобів;

- забезпечення підвозу води, продуктів харчування і предметів першої необхідності;

- забезпечення евакуації унікального обладнання і культурних цінностей.

Матеріально-продовольчі ресурси забезпечують процеси виконання захисних заходів необхідними матеріалами і засобами за допомогою формувань:

- матеріального забезпечення для зберігання і розподілення будівельних, дегазаційних, медичних та інших матеріалів і засобів;

- енергозабезпечення для заправлення транспорту горючо-мастильними матеріалами, підзарядки і заміни акумуляторних батарей, організації автономного електроживлення;

- речового забезпечення для зберігання і розподілення спецодягу серед особового складу формувань і предметів першої необхідності серед евакуйованого населення;

- комунального забезпечення для розселення і комунально-побутового обслуговування евакуйованого населення;
- продовольчого забезпечення для зберігання і розподілення продуктів харчування серед формувань і населення.

При пошуку оптимального плану застосування сил і засобів системи техногенної безпеки на етапі ліквідації наслідків НС доцільно використовувати програмно-цільовий підхід до планування. Початковим етапом циклу планування є розробка мети програми (цілепокладання). Головною системною метою програми робіт з ліквідації наслідків НС вважаємо підвищення їхньої цільової ефективності. Першим показником ефективності є F – значення очікуваного системного ефекту (зменшення збитку від наслідків НС) програми робіт з ліквідації наслідків НС. Другим показником ефективності програми треба вважати витрати бюджетних ресурсів B , якими досягнуто значення першого показника. Тоді ефективність цільової програми оцінюється як

$$e_{\text{öI}} = F/B . \quad (4)$$

Постановка задачі розробки оптимальної програми робіт з ліквідації наслідків НС: на множині планів використання бюджетних ресурсів $\mathfrak{R} = \{R_i\}$, де кожний з елементів R_i задовольняє системі обмежень на застосування ресурсів (тобто належить області припустимих рішень):

$$G(R_i) < G_O , \quad (5)$$

знайти такий (оптимальний) план R_O , що максимізує ефективність програми

$$e_{\text{öI}}(R_O) = \frac{F(R_O)}{B(R_O)} = \max e_{\text{öI}} . \quad (6)$$

Побудуємо область припустимих рішень на Парето-функції системи (рис. 1).

На рис. 1 позначено: BS – бюджетні витрати на програму, FS – цільовий ефект, що досягнуто витратами BS . Природно, що існує множина можливих планів \mathfrak{R} , кожний з елементів котрої представляється точкою з координатами $R(F, B)$.

Очевидно, що для кожної точки області припустимих рішень F планом R цілком визначається рівень використання ресурсів B . Множина "ефективних" планів, для котрих співвідношення (F/B) є найкращим, – ліва верхня межа області припустимих планів, бо кожний ефективний план переважає за F рівноцінні йому плани за B або поступається за B рівноцінним планам за F .

Множина ефективних планів складає множину Парето, що утворює функцію Парето $F(B)$.

Оскільки прагнення підвищення ефективності системи обмежується точкою $R^{mp}(F^{\max}, B^{\max})$ як планом "абсолютної досконалості" системи, то потрібних для цього бюджетних коштів B^{\max} може не вистачити і треба трохи "поступитися" цільовим ефектом F .

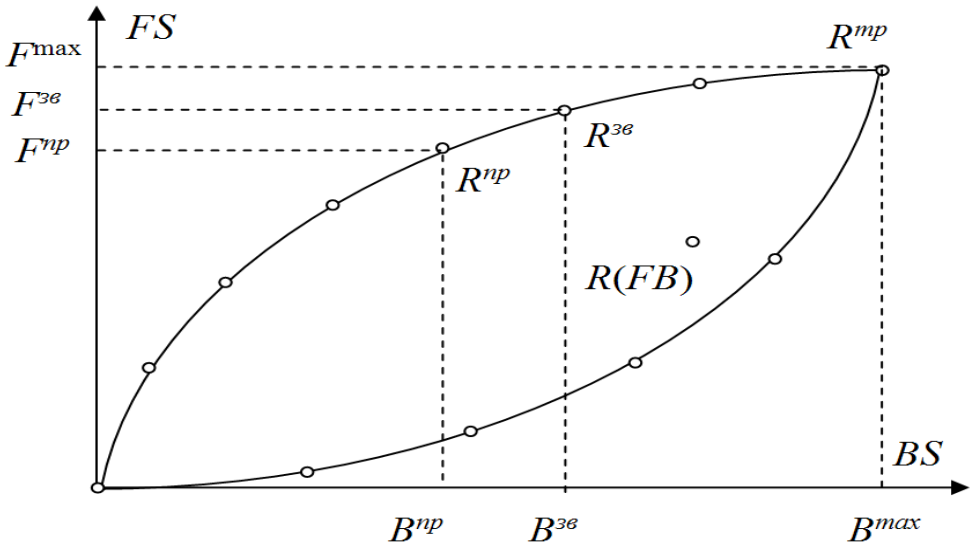


Рис. 1. Область припустимих рішень на Парето-функції системи

Якщо можливі витрати B^{np} , то їм відповідає значення Парето-функції F^{np} , що є результатом вирішення "прямої" задачі оптимального планування використання обмежених ресурсів, що максимізує ефект.

Якщо значення F^{np} не задовольняє і його можна підвищити до F^{ze} , то новому F^{ze} відповідає нове значення витрат бюджету B^{ze} , що є результатом вирішення "оберненої" задачі оптимального використання ресурсів, що мінімізує потрібний бюджет. Такий підхід визначає компромісний рівень цільового ефекту програми і бюджет для його досягнення.

Висновки

У статті сформульована постановка задачі ліквідації наслідків природних та техногенних катастроф на території України. Проведений аналіз проблем управління техногенною безпекою конкретного регіону, де зафіксована надзвичайна ситуація. Отриманий формальний опис досліджуваної системи і оточуючого її середовища, виходячи із принципів системного підходу.

Наведена класифікація джерел надзвичайних ситуацій, виходячи із причин виникнення, різних видів об'єктів ураження в залежності від характеру поведінки в екстремальних умовах, різних видів ресурсів захисту, які реалізують необхідні захисні заходи. Для пошуку оптимального плану застосування сил і засобів системи техногенної безпеки на етапі ліквідації наслідків НС використаний програмно-цільовий підхід до планування з використанням Парето-функції системи.

Розглянуті пряма та обернена задачі пошуку оптимального плану. Відбір об'єктів для прямої задачі проводиться у відповідності до їхньої пріоритетності (рангу). При вирішенні оберненої задачі відбір об'єктів проводиться до досягнення заданого рівня системного ефекту, що накопичується в процесі відбору.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. V. Trysnyuk, T. Trysnyuk, V. Okhariev, V. Shumeiko, A. Nikitin Cartographic Models of Dniester River Basin Probable Flooding. *Centrul Universitar Nord Din Bala Mare – UTPRESS ISSN 1582-0548, №1, 2018. С. 61–67.*
2. Trofymchuk, O., Kalyukh, Y., Hlebchuk, H. [2013] Mathematical and GIS-modeling of landslides in Kharkiv region of Ukraine. *Landslide Science and Practice: Spatial Analysis and Modelling.* – Springer, Berlin, Heidelberg. 347–352.
3. Адаменко О.М. Екологічна безпека територій. Монографія / О.М. Адаменко, Я.О. Адаменко, Л.М. Архіпова та ін. – Івано-Франківськ : Супрун, 2014. – 456 с.
4. Триснюк В.М. Система управління екологічною безпекою природних і антропогенно-модифікованих геосистем. Системи обробки інформації. – 2016. – №12. – С. 185–188.
5. Trysnyuk, V.M., Okhariev, V.O., Trysnyuk, T.V., Zorina, O.V., Kurylo, A.V., Golovan, Y.V., Smetanin, K.V., Radlowska, K.O. [2019] Improving the algorithm of satellite images landscape interpretation. 18th International Conference Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects, Extended Abstracts.

Стаття надійшла до редакції 18.02.2022 і прийнята до друку після рецензування 30.05.2022

REFERENCES

1. Trysnyuk, V., Trysnyuk, T., Okhariev, V., Shumeiko, V., Nikitin, A. (2018). Cartographic Models of Dniester River Basin Probable Flooding. *Centrul Universitar Nord Din Bala Mare*, 1, 61-67.
2. Trofymchuk, O., Kalyukh, Y., Hlebchuk, H. (2013). Mathematical and GIS-modeling of landslides in Kharkiv region of Ukraine. In *Landslide Science and Practice: Spatial Analysis and Modelling* (pp. 347-352). Springer, Berlin, Heidelberg.
3. Adamenko, O.M., Adamenko, Ya.O., Arkhipova, L.M. et al. (2014). Ecological safety of territories. Ivano-Frankivsk: Suprun.
4. Trysnyuk, V.M. (2016). Environmental safety management system of natural and anthropogenically modified geosystems. *Information processing systems*, 12, 185-188.
5. Trysnyuk, V.M., Okhariev, V.O., Trysnyuk, T.V., Zorina, O.V., Kurylo, A.V., Golovan, Y.V., Smetanin, K.V., Radlowska, K.O. (2019). Improving the algorithm of satellite images landscape interpretation. In *18th International Conference Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects*, Extended Abstracts.

The article was received 18.02.2022 and was accepted after revision 30.05.2022

Триснюк Василь Миколайович

доктор технічних наук, старший науковий співробітник, завідувач відділу досліджень навколишнього середовища Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України

Адреса робоча: 03186 Україна, м. Київ, Чоколівський бульвар, 13

ORCID ID: 0000-0001-9920-4879 **e-mail:** trysnyuk@ukr.net

Шумейко Віктор Олександрович

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України

Адреса робоча: 03186 Україна, м. Київ, Чоколівський бульвар, 13

ORCID ID: 0000-0002-0285-4566 **e-mail:** shum1983@ukr.net

Триснюк Тарас Васильович

кандидат технічних наук, науковий співробітник Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України

Адреса робоча: 03186 Україна, м. Київ, Чоколівський бульвар, 13

ORCID ID: 0000-0002-3672-8242 *e-mail:* taras24t@gmail.com

Марущак Василь Миколайович

аспірант Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України

Адреса робоча: 03186 Україна, м. Київ, Чоколівський бульвар, 13

ORCID ID: 0000-0002-6935-9949 *e-mail:* stydjaga.fo.ru@gmail.com