

УДК 004.942; 629.039.58

О.О. КРЯЖИЧ, О.В. КОВАЛЕНКО

## МОДЕЛЮВАННЯ ПОДІЇ РАДІАЦІЙНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ЛОКАЛЬНИХ ТЕРИТОРІЙ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

***Анотація.** У статті наведений підхід до створення моделей радіаційного забруднення міста або регіону у випадку техногенної аварії. Досліджені особливості моделювання радіаційного забруднення та умови невизначеності для таких ситуацій. Запропоновані алгоритми процедур для збалансування моделей у просторі та часі, а також варіант вирішення проблеми використання системного підходу при реалізації моделей радіаційного забруднення.*

***Ключові слова:** модель, алгоритм, система, обмеження, керуючий вплив, радіаційне забруднення.*

### Вступ

26 червня 2014 року з м. Слов'янськ, яке в той час знаходилося під контролем сепаратистів, почала надходити інформація про пошкодження установки радону, що використовувалася для лікування хворих у санаторії «Ювілейний» [1], та відповідні зміни радіаційного фону через цю подію. На місце виникнення небезпеки була спрямована оперативна-мобільна група рятувальників. За результатами вимірювання встановлено, що радіаційний фон на території санаторію «Ювілейний» складає 8-10 мкР/год, що не перевищує встановленої норми для Донецької області, яка складає 25 мкР/год.

Проте цей випадок, а також подальший розвиток бойових дій в Луганській та Донецькій областях виніс нове питання – як ефективно і швидко надавати інформацію щодо стану ситуації, близького до реального, у разі надходження обмеженої, невизначеної, будь-якої нечіткої інформації з метою попередження паніки, розповсюдження чуток, що є дуже актуальним в умовах інформаційної війни, а також швидкого реагування для збереження життя і здоров'я людей у разі виникнення подібної надзвичайної події.

Радіаційна загроза на сьогодні є одним з вагомих чинників виклику паніки через соціальні мережі. За період з весни минулого року по березень 2015 року Інтернет-супільство майже щомісяця занурювалося у обговорення цієї проблеми з відповідними критичними дестабілізаціями соціального життя. Так, 30 грудня на російському сайті LIFENEWS з'явилось сфальсифіковане повідомлення про витік радіації на Запорізькій АЕС, де стверджувалося, що радіаційний фон самої станції та сховища відпрацьованого ядерного палива перевищують норму у понад 16 разів і становлять від 4,76 мкЗв/год до 5,05 мкЗв/год. Вітчизняні ЗМІ цю інформацію згодом спростували, довели, що карти, представлені LIFENEWS, були оброблені у програмі "Photoshop", а в «Оперативному зведенні за добу про виникнення та розвиток надзвичайних ситуацій (подій) на території Запорізької області» з 08:00 27 грудня 2014 р. до 08:00 28 грудня 2014 р. за № 05/8/1677 від 28.12.14 року ГУ ДСНС України у Запорізькій області наведена реальна інформація про стан справ на Запорізькій АЕС, згідно з якою показники радіаційного фону склали 0,12 мкЗв/год, а у сховищі відпрацьованого ядерного палива – 0,14 мкЗв/год. [2].

З цього невеликого прикладу випливає актуальність питання, що досліджується: потрібні відповідні моделі для швидкого аналізу ситуації щодо радіаційного забруднення в умовах невизначеності з метою науково обґрунтованого інформування населення та протидії інформаційній війні в українському Інтернет-просторі.

Мета роботи: представити один з варіантів задачі моделювання події радіаційного забруднення локальних територій в умовах невизначеності.

Завдання роботи:

– дослідити існуючі методи та програмні засоби, що дозволяють оцінити негативний вплив радіації на оточуюче середовище;

– представити інформаційну модель та алгоритм реалізації дослідження локальної події радіаційного забруднення;

– навести моделі для застосування науково обґрунтованих висновків відносно питань можливого радіаційного забруднення територій та небезпеки населенню та оточуючому середовищу з метою протидії впливу штучно створюваній негативній інформації.

Представлені задачі у наведеному формулюванні досліджуються вперше.

## **1. Комп'ютерне моделювання загроз та процесів оточуючого середовища**

Останнім часом розробці нових систем підтримки прийняття рішень (СППР) з метою моніторингу та аналізу загроз та процесів техногенного забруднення оточуючого середовища в Україні та світі приділяється надзвичайна увага [3]. Адже перша дія, яка виникає у разі настання загрози виникнення надзвичайної ситуації техногенного характеру, викликає необхідність ухвалення рішень відносно введення захисних заходів для населення і довкілля. Виконання ситуаційних рішень та дії з оперативного реагування на подібні ситуації вимагають постійного оновлення інформації в режимі реального часу. Проте така інформація є різномірною: характеристики об'єкта, де виникла загроза аварії або вже відбулася аварійна ситуація, погодні умови, стан оточуючого середовища, час дня, пора року, щільність населення, економічні та соціальні умови, стан технічної і адміністративної підтримки території, де виникла загроза аварії, невизначеності в інформації, що надається, тощо. У зазначеному випадку будь-яка інформація, що надається населенню або особам, що приймають рішення (ОПР), повинна бути надійною, достовірною та своєчасною. Подібну обробку, перевірку та передачу інформації дозволяють здійснити відповідні інформаційні технології.

Проблематика комп'ютерного моделювання процесів техногенного впливу на оточуюче природне середовище полягає в тому, що будь-які комп'ютерні моделі описуються рівняннями, логічними правилами або описом деякої взаємодії складових. Системи оточуючого середовища мають ряд атрибутів, які відносять їх до життєздатних систем, що робить їх формальне представлення відмінним від суто техногенних систем. Зокрема, це динаміка, просторове розташування, комплексність, випадковість, періодичність. Окрім того, не можна забувати, що природне середовище неоднорідне і багато параметрів його функціонування може бути невідомим частково або зовсім. У цьому випадку в процесі моделювання недостатність інформації буде фактом, у зв'язку з чим проблему взаємодії «оточуюче середовище –

техногенна система» не можна буде описати звичайними лінійними моделями з простою параметризацією.

Для вирішення задач аналізу загроз та процесів оточуючого середовища використовуються проблемно- та ситуаційно-орієнтовані СППР. Багатоцільові СППР, які б охоплювали поставлені задачі системно, зараз розробляються і застосовуються в такому інструменті прогнозування та колективного прийняття рішень, як ситуаційні центри. Такі СППР базуються на людино-машинному діалозі і передбачають участь експертів при обговоренні питань та прийнятті рішень. Серед відомих комп'ютерних систем такого типу в рамках досліджуваної тематики можна назвати:

– систему RODOS, що розроблена рядом європейських інститутів, включаючи і українських дослідників, і яка забезпечує експертний аналіз надзвичайних ситуацій, пов'язаних з ядерними аваріями;

– експертну систему FRAME, що розроблена в Міланському політехнічному університеті і яка є експертною системою для вибору або побудови моделі в області аналізу забруднення атмосферного повітря.

Проте ці глобальні інформаційні системи не здатні забезпечити інформацію за локальними аварійними випадками, які створюють загрози в межах якоїсь території, проте не мають загального суттєвого впливу на будь-яку країну, де сталася аварійна ситуація з викидом, в цілому або ряд країн, що межують з країною, де стався інцидент.

На локальному рівні для аналізу техногенних загроз та небезпек застосовуються СППР з інструментами моделювання та імітації, що дозволяють ОПР аналізувати розвиток різноманітних сценаріїв загрози оточуючому середовищу, як з участю експертів, так і за допомогою суто комп'ютерного моделювання. Серед подібних технологій можна назвати систему FIDS (Facility for Intelligent Decision Support) Університету Манітоба для забезпечення комбінації експертних систем, оптимізаційних технологій, систем управління реляційними базами даних і чисельного моделювання з географічними інформаційними системами для того, щоб полегшити просторове представлення при ухваленні рішень, та інструмент PEST для оптимальної оцінки параметрів моделі, у тому числі і нелінійних.

Серед цього ряду технологій для СППР є цікавою українська розробка Інституту проблем математичних машин і систем НАН України – програмний виріб «Прогнозування та оцінка наслідків катастроф з хімічною речовиною на об'єктах збройних сил України» («Хмара»). «Хмара» дозволяє змодельовати ситуацію, що відбудеться в повітрі чи на землі при розливі чи викиді небезпечних речовин з врахуванням особливостей місцевості, температури, напрямку вітру та ряду інших суттєвих параметрів.

Проте, слід зазначити, серед розглянутих інформаційних технологій не існує дієвого інструменту швидкого аналізу події радіаційного забруднення в умовах невизначеності.

Специфіка СППР для прийняття рішень за умов радіаційного викиду полягає у необхідності прийняття рішень у ранній фазі аварії. Як свідчить досвід аварії на Чорнобильській АЕС, безпосередньо протягом декількох годин після викиду ефективність прийнятого рішення є найбільш високою, бо дозволяє врятувати життя і здоров'я людей на оточуючих об'єкт територіях, а також запровадити ряд контрзаходів протидії розповсюдженню ураження території. Розуміння ситуації експертами, що аналізують подію, відбувається

повільніше – приблизно до кінця доби з моменту викиду. Повний аналіз ситуації відбувається наприкінці першого тижня. Але за таких умов ефективність прийняття рішень є занадто низькою. Саме тому СППР для вирішення питань запобігання розповсюдженню радіаційного забруднення та рятування людей повинні працювати в режимі реального часу, що є майже неможливим за існуючих систем підтримки прийняття рішень, що використовують традиційні методи і підходи до аналізу ситуації.

Процес аналізу ситуації та прийняття рішень наведеної ситуації стає можливим лише за застосування сучасних систем моніторингу, обміну та обробки даних, застосування різноманітних моделей, які можна швидко адаптувати для опису ситуації, що склалася, а також створення нових систем інформування населення з метою недопущення паніки та швидкої мобілізації у разі евакуації.

## **2. Інформаційна модель локальної надзвичайної події з радіаційним забрудненням**

Напруженість в суспільстві відносно небезпеки радіаційного впливу виникає через властивості випромінювання бути «нечутним» і «непомітним» та негативний досвід аварії на Чорнобильській АЕС. Тобто, на такій колізії виникає безпосередня асоціація «непомітність – відсутність інформації – небезпека». Подібний логічний ланцюг обумовлений недосконалістю сучасної системи офіційного інформування населення у разі загроз, особливо в теперішній період активного розвитку інформаційних технологій, коли інформація в мережі «Facebook» з'являється раніше, ніж в офіційних джерелах, а офіційні випуски новин на телебаченні останнім часом використовують інформацію з мережі «Facebook» у якості підтвердженої новини, без будь-якого аналізу і обґрунтування [4].

Кінцева мета використання будь-якої моделі – надати прогноз ризику перебування населення обраного населеного пункту або регіону за різноманітних сценаріїв впливу на цю територію радіаційних речовин, що потрапили у оточуюче середовище. Для прийняття якогось рішення, обрання стратегії заходів, у тому числі – щодо міри доступної інформації для населення, її акцентів, інформування про небезпеку та її наслідки, необхідно мати систему моделей, які дозволяють охарактеризувати досліджуваний регіон, небезпечно підприємство та отримати ряд показників, які можна порівняти з базовими, що знаходяться в межах припустимих норм.

Існує багато моделей для розрахунку радіаційних речовин в атмосфері, ґрунті, воді, але вони, в основному, торкаються міграційних проблем і не спрямовані на оцінку впливу на людину. Деталізація моделей вимагає більше інформації, на збір і обробку якої витрачається час. Головна вада існуючих моделей – найчастіше вони не збалансовані у просторі та часі, їх важко інтегрувати або використовувати за ситуаціями, віддаленими від базових алгоритмів. Складність застосування в таких моделях системного підходу обумовлена тим, що в атмосфері, де відбувається перенос радіаційно забруднених часток викиду, процес циркулювання може відбуватися годинами з перепадами від метрів до кілометрів, а у ґрунті це будуть роки і сантиметри. Цю задачу для навколишнього середовища частково вирішують за допомогою ланцюгів пов'язаних різномасштабних моделей, проте для аналізу впливу на людину,

навіть за умов дослідження людини в системі оточуючого середовища, такий підхід залишає високий відсоток невизначеності, що ускладнює процес прийняття рішення.

Слід зазначити, що у випадках виникнення локальних надзвичайних подій на підприємствах України описаний підхід обумовлений застарілістю та недостатньою функціональністю систем збору і обробки інформації на потенційно небезпечних і небезпечних об'єктах.

Так, аналізуючи типові схеми зв'язку та сповіщення при виникненні надзвичайної події на будь-якому небезпечному об'єкті та проектуючи їх на схему етапів і зони розвитку аварійної ситуації, можна зазначити, що повідомлення про подію розпочинається не на етапі її розвитку, а за фактом довершеності, тобто, з моменту її розгортання на етапі безпосередньої кризи. Розвиток аварії і прибуття сил та засобів її подолання відбувається паралельно. Саме через те у більшості випадків можливе лише подолання наслідків аварії, а не протидія її розвитку. Узагальнюючи, це можна пояснити за допомогою принципу Гюйгенса, коли фронт аварії описується в кожній точці як  $t + \Delta t$ , тобто кожна точка нового етапу розвитку аварії є джерелом розповсюдження надзвичайної події із заданою швидкістю по колу.

Кожен небезпечний об'єкт має план ліквідації аварійних ситуацій (ПЛАС), в основі якого лежить інформаційна модель об'єкта з певною долею невизначеної інформації за період  $t + \Delta t$ , в якій  $\Delta t$  залежить від ряду факторів та керуючих впливів. Будь-яку аварійну ситуацію можна представити у розвитку у вигляді дерева подій (ДП), яке широко відоме і використовується при моделюванні можливого ризику та аналізі ситуацій. Кожну кінцеву подію ДП можна представити як перетин множини елементів, які належать відмовам системи безпеки, а розвиток ситуації – як перетин множини елементів розвитку події та спрацьовування систем безпеки. Такий підхід дозволяє побачити, що кінцева подія з ліквідації наслідків аварії буде розтягнута у часі на період затримки прийняття рішення – відставання керуючого впливу від швидкості розвитку події.

Якщо прийняти припущення, що керуючий вплив із забезпечення швидкої локалізації та ліквідації аварійної ситуації залежить лише від часу та формується на основі неузгодженості поточного стану та стану, який прогнозується, то завданням із своєчасного інформування населення з метою його захисту від наслідків аварії є розробка траєкторії розвитку події. В ідеальному варіанті це можна представити як залежність:

$$X(t) = X_i(t), \quad i = 1, 2, \dots, k, \quad (1)$$

де  $X, X_i$  – вектори поточного стану та стану, що прогнозується;  
 $t$  – час до моменту прийняття рішення.

Припустимо, що в якийсь момент часу  $t_1$  в результаті виконання виробничих завдань відбулося відхилення від заданої траєкторії процесу. Інформаційна модель повинна надати можливість системі управління швидко знайти це відхилення  $\Delta X(t_1)$  і зробити так, щоб фактична і планована траєкторії керуючого впливу зрівнялись у проміжок часу  $t_2$ . Завдання моделей для системи управління безпекою небезпечних підприємств – звести такі відхилення до мінімуму.

Небезпечне підприємство (НП) функціонує у відповідності до завдань оточуючого середовища (ОС), тож показник відповідності поточного стану підприємства можна сформулювати як здатність функціонувати  $F$  за призначенням:

$$F_{OC} = F_1 + F_2 + F_3 + \dots + F_n, \quad (2)$$

де  $1, 2, 3, \dots, n$  – перелік типових завдань, які здатне реалізувати небезпечне підприємство за призначенням.

Це дозволяє вирішити проблему застосування системного підходу в моделях для розрахунку радіаційних речовин в оточуючому середовищі та їх впливу на організм людини наступним чином: з точки зору системного підходу представлену систему «небезпечний об'єкт – оточуюче середовище» слід аналізувати в рамках теорії складних систем з позицій послідовної обробки інформації в процедурах циклу управління. Враховуючи, що з моменту виникнення задуму щодо створення небезпечного підприємства його мета існування та цільова функція визначається з позицій оточуючого середовища, необхідно будь-які внутрішні цілі та плани підприємства трансформувати з огляду на системні обмеження оточуючого середовища та безпечної функціонування людини в ньому. Тобто, кожне завдання небезпечного об'єкта повинне розглядатися дуалістично, орієнтуючись на системні обмеження як самого об'єкта управління, так і оточуючого середовища, як середовища існування людини (рис. 1).

Наведена функціональна схема дозволяє алгоритмізувати процедури управління щодо визначення важелів забезпечення рівноваги системи «небезпечне підприємство – оточуюче середовище», проте не дає відповіді на питання відносно створення негативного впливу при дисбалансі цієї системи. Саме тому необхідне подальше перетворення цільової функції за ознаками відповідності вимог до ресурсного та регламентного забезпечення завдання із забезпечення безпеки підприємства (рис. 2).

Наведене на рис. 2 дозволяє проаналізувати процес управління небезпечним підприємством та виявити, на якому етапі управління була припущена невідповідність поставленого завдання щодо забезпечення безпеки, тобто виявити те вузьке місце, яке може призвести або призвело до виникнення аварійної ситуації.

У формальному вигляді викладене на схемі можна представити, як  $F_i$  ОС =  $f(x, y, z)$  ОС із системними обмеженнями підприємства  $F$  НП =  $f(x, y, z)$  НП на ресурси ( $x$ ), типові технології функціонування ( $y$ ) та типові повноваження ( $z$ ). Більшість систем забезпечення безпеки вітчизняних підприємств діє саме за критерієм відповідності проектним типовим технологіям без належного врахування поточного стану об'єкта. Враховуючи високий рівень зносу основних виробничих фондів більшості діючих в Україні потенційно небезпечних і небезпечних підприємств, цей фактор вимагає обов'язкового врахування при розробці виробничих планів.

Виходячи із зазначеного, логічно, що на третьому етапі перетворення цільової функції за ознаками забезпечення безпеки виконується комплекс процедур планування та формулювання керуючого впливу з боку підприємства щодо безпосереднього виконання виробничого завдання з урахуванням можливостей об'єкта управління із забезпечення безпеки.

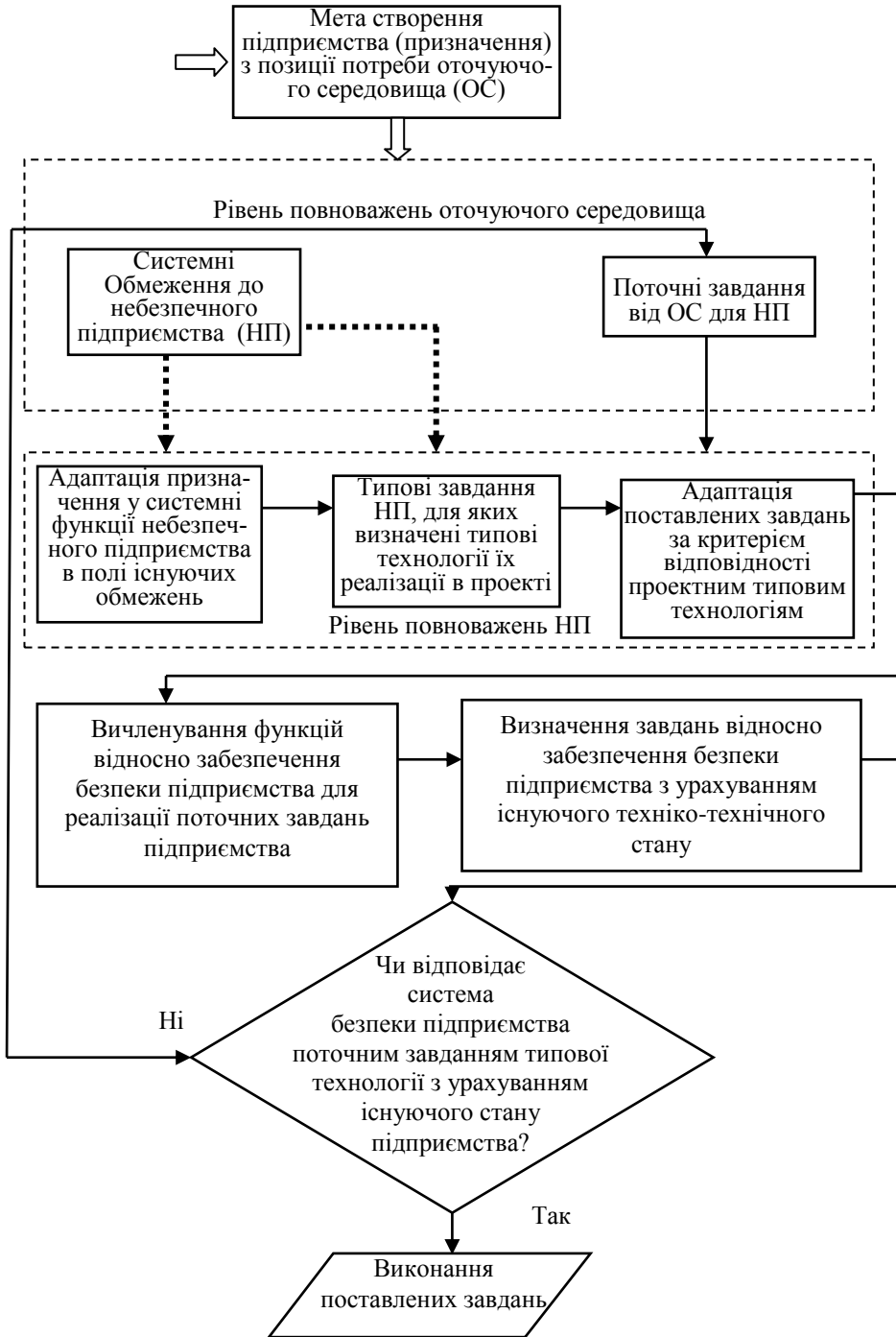


Рис. 1 – Функціональна схема перетворення цільової функції в процедурах управління безпекою небезпечного об'єкта

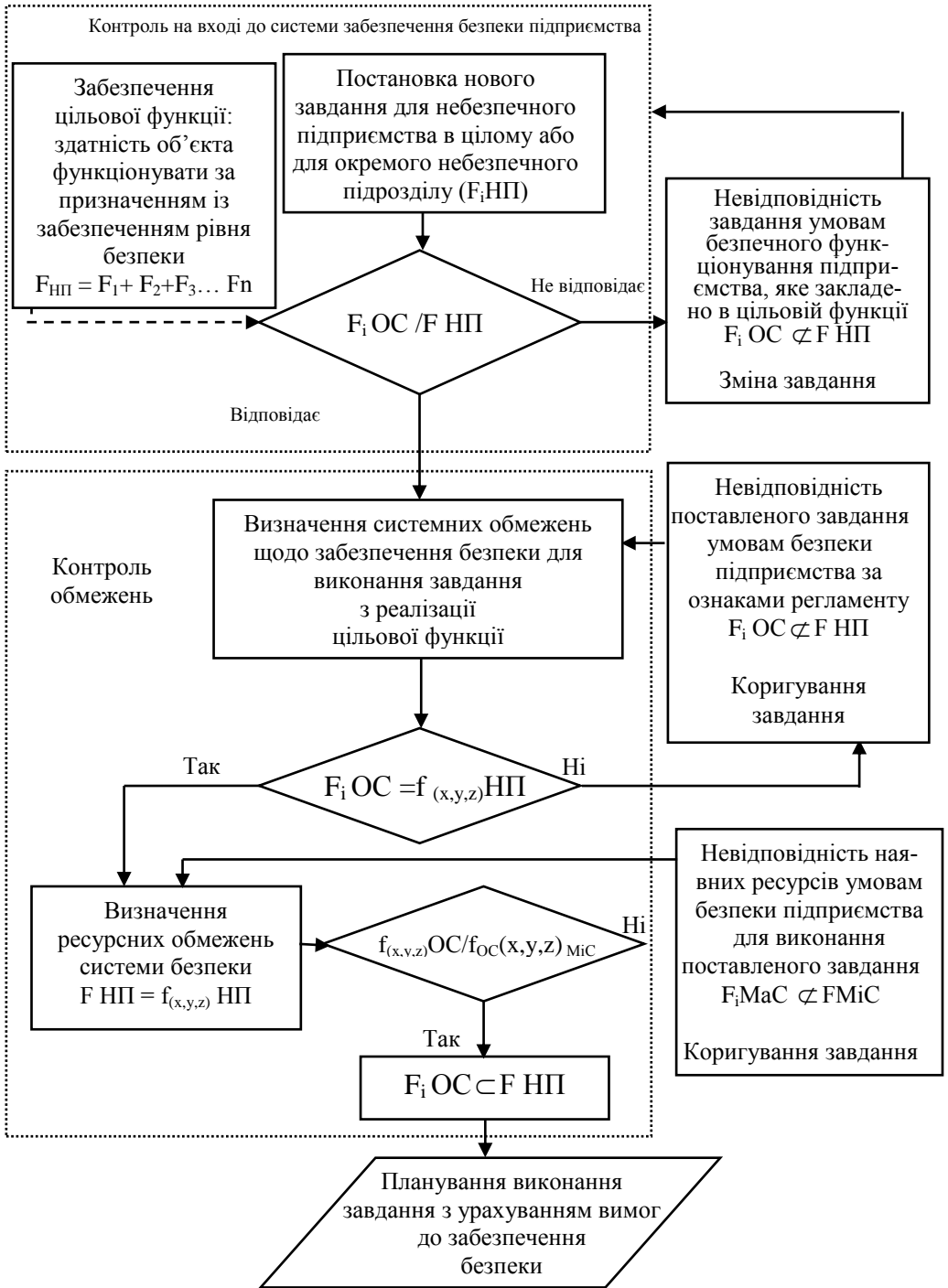


Рис. 2 – Функціональна схема аналізу відповідності завдання критеріям безпеки

Комплекс процедур планування реалізує процедури перетворення цільової функції з рівня оточуючого середовища:

- вхідний контроль наказів з рівня оточуючого середовища  $F_i OC / F HP$ .
- вхідний контроль наказів з рівня безпеки підприємства  $f_{(x,y,z)} OC / f_{(x,y,z)} HP$ .



Комплекс процедур внутрішнього планування об'єкта управління щодо виконання завдання з урахуванням вимог забезпечення безпеки з рівня оточуючого середовища складається з адаптації наказу до системних вимог безпеки, формулювання необхідних дій з набору типових рішень з урахуванням вимог до забезпечення безпеки, трансформації необхідних дій у план дій та формулювання наказу керівництва з деталізацією завдань зі здійсненням контролю. Все це виступає вхідною інформацією у процесі аналізу ситуації, що може статися чи сталася на небезпечному об'єкті, і саме на цій інформації базуватимуться імітаційні моделі можливого розвитку подій.

### 3. Актуалізація інформації у часі та просторі про надзвичайну подію

Проблематика балансування моделей у просторі та часі може бути мінімізована за рахунок запобігання традиційному відокремленню ситуаційного управління від штатної системи управління. З погляду на весь цикл можливих ситуацій на об'єкті, технологія управління небезпечним об'єктом повинна створювати цілісну систему за умов управління в реальному часі. Показник управління в реальному часі  $T$  можна визначити, як  $T = 0$  – ознака своєчасності інформації;  $T = 1$  – ознака несвоечасності інформації. Таку ознаку отримує кожний запис до бази даних систем збору та обробки інформації, де виявлено несвоечасність. Для здійснення такої перевірки кожний запис має містити в собі визначений інтервал часу, коли інформація в запису є актуальною. Формально це можна представити як додаткову залежність інформації управління від відрізка часу, на якому вона є актуальною.

$$T = 0, \text{ якщо } \begin{cases} x_i(a, b, c, d, t_0 - t_k) \in X; \\ y_j(a, c, d, e, t_0 - t_k) \in Y; \text{ якщо } t_0 < t < t_k \\ z_q(a, c, d, e, t_0 - t_k) \in Z \end{cases}, \quad (3)$$

де  $a$  – ім'я запису у базі даних параметра, що досліджується і який характеризує певний небезпечний процес;

$b$  – регламент об'єкта відносно процесу, який характеризується параметром, що досліджується;

$c$  – підрозділ, який виконує процес;

$d$  – ознаки рішення, яким задіяний цей процес;

$e$  – ознаки виконання рішення (вплив рішення на параметр, його зміни).

Додатково у записах бази даних враховуються ознаки актуальності запису у часі на інтервалі актуальності  $t_0 < t < t_k$ , який визначається в планових документах. Тобто запис у базі даних є актуальним для прийняття рішення, тому що співпадає з часовим інтервалом адекватності інформації.

Просторове представлення моделей можна здійснити за допомогою опису ресурсів  $x_i$  та деяких дій (операцій) над ними  $y_j$ , що описані в регламентних процедурах управління об'єктом. Вихід записів про ресурси та операції з ними за межі визначеного відрізка часу робить інформацію щодо них неактуальною (архівною), але вона не може бути скасованою до отримання актуальної інформації. У той же час вихід за межі визначеного відрізка часу інформації рішення з управління  $z_q$  є показником розвитку ситуації, оскільки

визначає факт неприйняття своєчасного рішення, за яким ситуація стає кризовою в деякий критичний час  $t_k$ .

$$T = 1, \text{ якщо } \begin{cases} x_i(a, b, c, d, t \geq t_k) \Rightarrow \text{апрікс}; \\ y_j(a, c, d, e, t \geq t_k) \Rightarrow \text{апрікс}; \\ z_q(a, c, d, e, t \geq t_k) \Rightarrow \text{криза} . \end{cases} \quad (4)$$

Складність задачі визначення умов актуальності інформації у часі та просторі разом з умовою комплексності при дослідженні процесу управління безпекою підприємства та оточуючого середовища обумовлена тим, що поведінку відкритих складних систем, які складаються з неоднорідних компонентів, їх просторово-часову структуру визначають зв'язки, які тісно пов'язують їх між собою. В цілому структуру системи можна характеризувати кількістю можливих станів і парціальними ймовірностями їх реалізації. Останні змінюються у часі, визначаючи динамічні характеристики системи, в тому числі їх реакцію на процеси та взаємодію з іншими системами. Тож з огляду на зазначене, традиційний математичний формалізм представлення процесу захисту населення і природного середовища від радіаційного впливу слід представляти не як триаду, де людина винесена за межі контуру оточуючого середовища, а як діаду, де людина є частиною цього середовища.

#### 4. Моделі взаємодії у разі виникнення локальної надзвичайної події

У статичній моделі «небезпечне підприємство – середовище» можна визначити деяку ділянку площини  $R$ ,  $\Omega \subset R$ , яка представляє собою адміністративно обмежену територію (місто, регіон),  $\vec{r} \subset R$ .

Простори, які моделюють стан системи, можуть бути визначені наступним чином:

$X = X(\Omega, R^n)$  – простір станів підприємства – множина вектор-функцій  $x: \Omega \rightarrow R^n$ ,  $x(\vec{r}) = (x_1(\vec{r}), \dots, x_n(\vec{r}))$ ;

$Y = Y(\Omega, R^m)$  – простір станів забруднення оточуючого середовища – тензорний добуток двох векторів стану середовища та стану людини в цьому середовищі, у підсумку чого відбувається композиція двох функцій:  $F: Y \rightarrow N$  та  $G: F(Y) \subset N \rightarrow Z$ . Їх композицією буде функція  $G \circ F: Y \rightarrow Z$ , яка може бути представлена рівнянням  $(G \circ F)(y) = G(F(y))$ ,  $y \in Y$  та описана множиною вектор-функцій  $y: \Omega \rightarrow R^m$ ,  $y(\vec{r}) = (y_1(\vec{r}), \dots, y_n(\vec{r}))$ ;

$V = V(\Omega, R^k)$  – простір станів оточуючого середовища, фактично це – результати моніторингу середовища, які можуть бути представлені як множина вектор-функцій  $v: \Omega \rightarrow R^l$ ,  $v(\vec{r}) = (v_1(\vec{r}), \dots, v_n(\vec{r}))$ ;

$W = W(\Omega, R^p)$  – простір небезпечних впливів на оточуюче середовище та людину, які можуть бути представлені як порушення регламенту при оперуванні ресурсами підприємства з виконання поставленого виробничого завдання. Це може бути представлене як множина вектор-функцій  $w: \Omega \rightarrow R^p$ ,  $w(\vec{r}) = (w_1(\vec{r}), \dots, w_n(\vec{r}))$ .

Простори, які моделюють можливі операції, що відбуваються у досліджуваній системі, можуть традиційно бути розглянутими як контрзаходи на

подію, або, як зазначалося, по-новому – як складові ситуаційного управління в загальній системі управління:

$K(X)$  – простір операцій по відношенню до небезпечного підприємства або окремого підрозділу, де  $a = (a_1, \dots, a_r) \in K(X)$ ;

$K(V \times Y)$  – простір операцій по відношенню до оточуючого середовища, включаючи тензорний добуток двох векторів стану середовища та стану людини в цьому середовищі, де  $b = (b_1, \dots, b_s) \in K(V + Y)$ ;

$\varphi \in \Phi$  – простір інших критеріїв, що мають суттєвий вплив на систему, що досліджується.

Точки просторів операцій  $K(X)$ ,  $K(V \times Y)$  у параметричному вигляді задають вплив, який здійснюється на систему. Компоненти векторів можуть бути представлені числовими або логічними змінними. Приклади означення просторів наступні:

$x \in X$  – вплив небезпечного підприємства на оточуюче середовище за кожною компонентою забруднення;

$y \in Y$  – розподіл забруднюючих речовин на середовище, на людину.

Зв'язки між просторами визначатимуться наступним чином:

$F: X \times V \rightarrow Y$  визначає стан забруднення середовища за результатами моніторингу стану середовища та стану підприємства;

$J: X \times Y \rightarrow W$  визначає збиток в залежності від стану середовища та стану об'єкта.

Аналогічно будуються й інші зв'язки досліджуваних просторів.

Визначення величин критеріїв  $L$  можна здійснити за моделлю:

$$L: X \times V \times K(X) \times K(V \times Y) \times K(F) \times K(J) \times W \rightarrow \Phi \xrightarrow{U} R, \quad (5)$$

де  $R$  виступає керованим режимом функціонування підприємства, на повернення до якого і спрямовані зусилля ситуаційного управління.

Перехід до цього режиму можна представити відомим функціоналом [5]:

$$\widetilde{R}_{tr}^+ : R_{os} \xrightarrow{U_r} R_{sd}, \quad (6)$$

де  $\widetilde{R}_{tr}^+$  – керований режим функціонування, який обумовлений множиною керуючих параметрів  $U_r$  системи управління безпекою, які протягом періоду  $T_{tr}^\pm$  призводять до переходу нештатного режиму  $R_{os}$  до штатного режиму  $R_{sd}$ .

На цьому етапі відбувається перехід до динамічної моделі, коли узгодження за простором і часом досягає критичного моменту для достовірності ситуації, що моделюється. Всі наведені простори операцій замінюються на простори, залежні від часу, тобто,  $K^T(X)$  – простір операцій по відношенню до небезпечного підприємства або окремого підрозділу у вигляді функції за період часу  $T$ . Інші простори будуються аналогічним чином, у тому числі при застосуванні операцій залежності між просторами.

Наведена блок-схема (рис. 3) узагальнює рис. 1 і 2 та дозволяє візуалізувати модельовану ситуацію відносно стану системи. Мета ситуаційної моделі – прогнозування розвитку ситуації, недопущення переходу аварії

в катастрофу, виходу аварії за межі робочого майданчика, локалізація і ліквідація аварії у разі, якщо вона вже виникла.

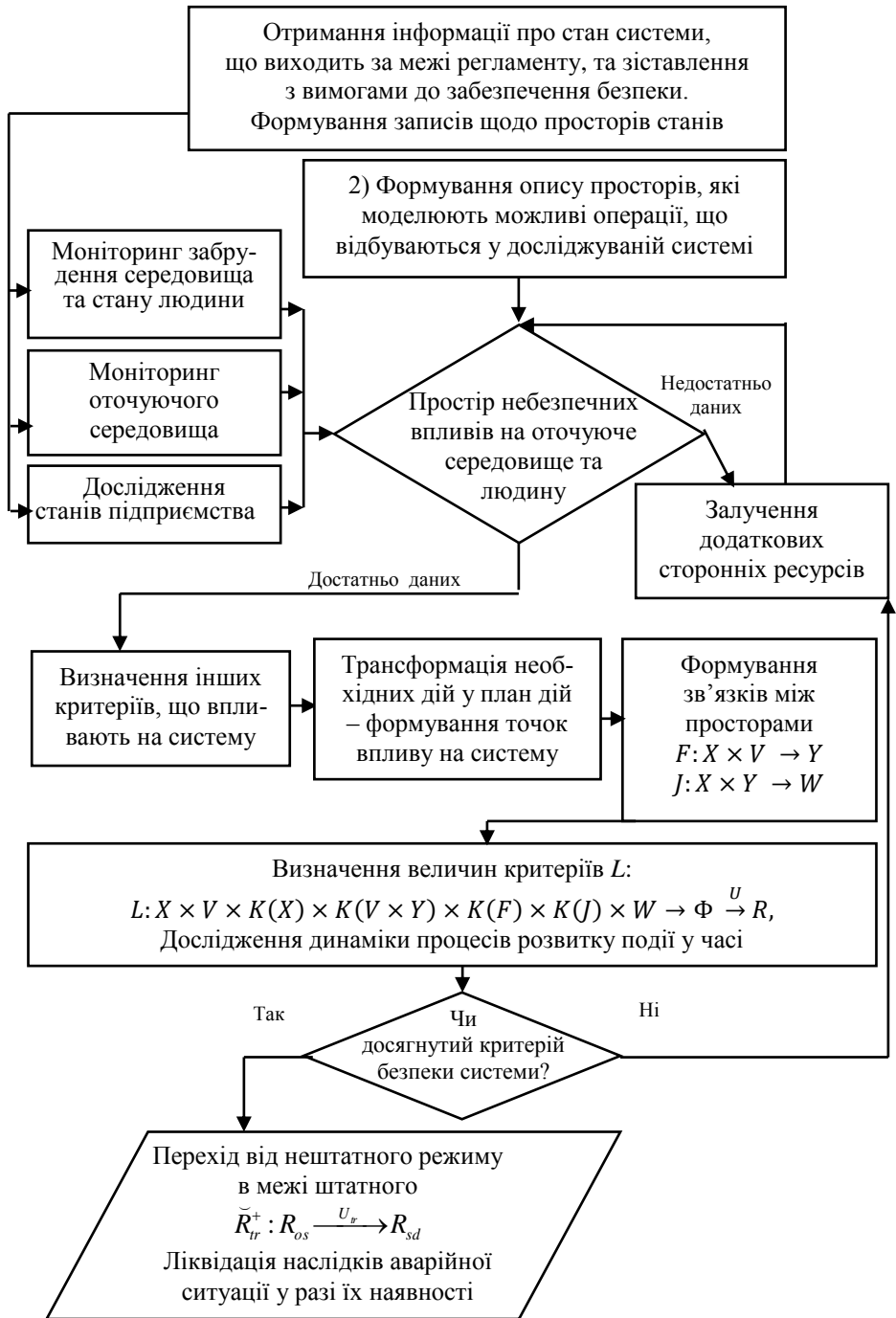


Рис. 3 – Реалізація обробки інформації на ситуаційному рівні

Задачею щодо обробки інформації для підтримки рішень та своєчасного надання актуальної інформації про подію на цьому етапі є вичленування найнеобхіднішої інформації з усієї множини отриманих раніше даних за

операціями у кожному з аналізованих просторів. Ситуаційна підсистема для реалізації наведених моделей вимагає не лише відповідного програмного забезпечення, а й представлення результатів сучасними засобами візуалізації. Зокрема, наведений підхід до вирішення задачі моделювання події радіаційного забруднення в умовах невизначеності дозволяє розглянути систему за просторами, визначаючи базові фактори впливу на оточуюче середовище та людину в ньому, за проведеними операціями оцінити вплив величин окремих компонентів на досліджувану систему та у підсумку побудувати алгоритм переведення критичної ситуації до штатної. Якщо створити спеціальний Інтернет-портал з інтерактивною картою з вказівкою нормативних показників радіаційного фону, хімічного забруднення та інших критичних показників сучасного техногенного навантаження територій, то за наведеними моделями можна оперативного аналізувати та подавати там оперативну ситуацію щодо стану довкілля за будь-яким населеним пунктом або територією.

## Висновки

За підсумками дослідження запропоновано:

– алгоритми процедур управління щодо визначення важелів забезпечення рівноваги системи «небезпечне підприємство – оточуюче середовище», з представленням традиційного математичного формалізму процесу захисту від радіаційного впливу не як тріади, де людина винесена за межі контуру оточуючого середовища, а як діади, де людина є частиною цього середовища;

– вирішення проблеми застосування системного підходу в моделях для розрахунку радіаційних речовин в оточуючому середовищі та їх впливу на організм людини можливе за застосування теорії складних систем з позицій послідовної обробки інформації в процедурах циклу управління;

– проблематика балансування моделей у просторі та часі може бути мінімізована за рахунок запобігання традиційному відокремленню ситуаційного управління від штатної системи управління.

Зазначене дозволяє створити спеціальний Інтернет-портал з інтерактивною картою для своєчасного інформування населення щодо радіаційного стану територій з метою попередження паніки, що є надактуальним в умовах інформаційної війни.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Національна рада безпеки та оборони України. Офіційний сайт [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.rnbo.gov.ua/news/1711.html>.
2. ТСН. Офіційний сайт [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://tsn.ua/ukrayina/avariya-na-zaporizkiy-aes-scho-stalos-i-yak-poynayuyue-incident-vlada-395373.html>.
3. Довгий С.О., Бідюк П.І., Трофимчук О.М. Системи підтримки прийняття рішень на основі статистично-ймовірнісних методів. – К.: Логос, 2014. – 419 с.
4. Канал 24. Офіційний сайт [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://24tv.ua/news/showNews.do?u\\_putina\\_noviy\\_stsenariy\\_\\_timchuk&objectId=539078](http://24tv.ua/news/showNews.do?u_putina_noviy_stsenariy__timchuk&objectId=539078)
5. Згуровський М.З. Системний аналіз. Проблеми, методологія застосування / М.З. Згуровський, Н.Д. Панкратова. – К.: «Наукова думка», 2011. – 728 с.

*Стаття надійшла до редакції 10.06.2015*