

МІНІСТЕРСТВО ЕКОЛОГІЇ
ТА ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ
УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНА ЕКОЛОГІЧНА
АКАДЕМІЯ ПІСЛЯДИПЛОМНОЇ
ОСВІТИ ТА УПРАВЛІННЯ

03035, м. Київ-35, вул. Митрополита Василя
Липківського, 35, т./ф. (044) 206-31-87.
e-mail: dei2005@ukr.net



MINISTRY OF ECOLOGY
AND NATURAL RESOURCES OF
UKRAINE

STATE ECOLOGICAL ACADEMY OF
POST-GRADUATE EDUCATION AND
MANAGEMENT

35, Metropolitan Vasil Lypkivskyi str., Kyiv,
03035, Ukraine, tel./fax (044) 206-31-87,
e-mail: dei2005@ukr.net

Голові спеціалізованої вченої ради
Д 35.101.01 Української академії
друкарства МОН України

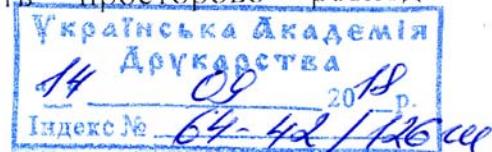
79020, м. Львів, вул. Підголоско, 19

ВІДГУК
офіційного опонента,
проректора з наукової роботи

Державної академії післядипломної освіти та управління,
Міністерства екології та природних ресурсів України,
доктора технічних наук, професора **МАШКОВА Олега Альбертовича**
на дисертацію **ЖАРІКОВОЇ Марини Віталіївни**
за темою: "МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЇ
ТЕХНОЛОГІЇ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В ПРИРОДНО-
ТЕХНОГЕННИХ СИСТЕМАХ ЗА УМОВ РУЙНІВНИХ ПРОЦЕСІВ",
подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
за спеціальністю 05.13.06 – Інформаційні технології

Актуальність теми дисертації.

За сучасних умов на тлі загострення обстановки в східних регіонах України відбувається зростання загроз екологічній і техногенній безпеці держави, у т. ч. внаслідок порушення технологічного режиму функціонування численних потенційно небезпечних об'єктів (ПНО). Наявний в Україні комплекс гірничодобувних, хімічних, енергетичних об'єктів із значною кількістю промисловоміських агломерацій та високою щільністю населення зумовлює істотне зростання ризиків виникнення техногенних катастроф з масштабними негативними наслідками через загрозу руйнування ПНО, у т.ч. внаслідок воєнних дій, у місцях їх дислокації. Серед об'єктів критичної інфраструктури особливу загрозу становлять просторово розподілені



залізничні колії, нафто- та газопроводи, мости, ПНО, магістральні електромережі, безпечна експлуатація яких має першочергове значення для соціально-економічного розвитку України. Така ситуація разом із підвищеннем уразливості населення у результаті демографічних, технологічних і соціально-економічних змін, що відбуваються в умовах поширення процесів урбанізації, погіршення стану довкілля, глобальних змін клімату може привести до істотного зростання ризиків і загроз природного і техногенного походження та зниження рівня екологічної безпеки. Враховуючи системні дослідження сучасного стану екологічної безпеки держави, можна дійти висновку про необхідність уточнення підходів до зниження ризику природних і техногенних катастроф як необхідної умови змінення потенціалу протидії держави для більш ефективного захисту населення, об'єктів інфраструктури та довкілля. Концепція зниження ризику катастроф широко використовується в світі шляхом запровадження систематичних зусиль з аналізу та управління важливими факторами катастроф, у тому числі за рахунок зниження схильності до впливу таких факторів, зменшення уразливості населення, господарських об'єктів і довкілля, поліпшення рівня готовності до несприятливих подій. Беручи до уваги складні соціально-економічні умови, в яких перебуває Україна, для підвищення рівня екологічної безпеки держави необхідно запроваджувати сучасні світові підходи щодо зниження ризику і на цій основі ухвалювати обґрунтовані рішення щодо запобігання і мінімізації негативних наслідків надзвичайних ситуацій і стихійних лих. Тому актуальним є розробка методів і програмно-технічних засобів, спрямованих на вирішення завдань оцінки ризиків і загроз екологічній безпеці регіонів держави.

Загальновизнаною тенденцією цивілізаційного розвитку на сучасному етапі є значне зростання соціально-економічних втрат від різних небезпек, в основі яких є природні і антропогенні процеси. У своїй більшості небезпеки мають природно-техногений характер, і зростання уразливості суспільства до небезпек визначальною мірою обумовлено соціально-економічними чинниками. Постійна присутність природно-техногенних небезпек у процесах соціального розвитку дає змогу стверджувати про їх системність і необхідність

їх врахування при прогнозуванні соціального розвитку. В останні десятиліття багато країн стикнулися з ефектом “синергетичного” посилення несприятливих факторів різної природи. Наприклад, несприятливі погодні умови або стихійні лиха призводять до серйозних економічних втрат, це викликає великі соціальні витрати. Це призводить до того, що суспільство стає ще більш нестійким відносно аварій і катастроф – спрацьовує “ефект доміно”. Все це актуалізує проблему необхідності застосування системного підходу до дослідження природних і техногенних факторів безпеки. Системний аналіз визнано ефективним інструментом дослідження проблем безпеки, зокрема проблеми забезпечення природно-техногенної безпеки. Актуальність удосконалення системного підходу у вирішенні проблем безпеки обумовлюється невирішеністю концептуальних, теоретичних і методичних аспектів аналізу й інтегрального оцінювання природно-техногенної небезпеки складних систем. При цьому виникає протиріччя між необхідністю проведення аналізу стану різних систем з метою запобігання виникненню загрозливих ситуацій, обумовлених взаємодією природних і техногенних чинників, підвищення безпеки існуючих і новостворюваних підприємств, з одного боку, і відсутністю адекватного науково-методичного забезпечення – з іншого.

Згідно з концепцією сталого розвитку пріоритетним є визначення безпечних екологічно-техногенних умов для збереження якості навколишнього природного середовища (НПС), формування механізмів раціонального використання природних ресурсів та визначення допустимих меж небезпечності для негативних факторів впливу на здоров'я населення. Сутність комплексної системи еколого-економічної оцінки природно-техногенних об'єктів полягає у поєднанні та узгодженні економічного, екологічного і соціального аспектів сталого розвитку. Саме визначення методики комплексної оцінки екологічності системних утворень, що містять природну складову і потребують її збереження за станом і функціональними можливостями, є актуальним як у межах розв'язання задач сталого розвитку, так і проблемних питань концепції національної екологічної політики. Відповідно до такої постановки задачі дослідження у роботі запропоновано новий підхід.

встановлення методичного забезпечення з оцінки екологічної якості НПС на основі взаємоузгодження MIPS-аналізу, екологічного ризику, пов'язаного з станом соціально-економічних об'єктів, і ризику здоров'ю на рівні системних об'єктів природно територіальних комплексів.

Сучасність характеризується різким зростанням обсягів технологічно небезпечного виробництва та відповідного впливу людини на оточуюче середовище. Передбачення наслідків цих процесів, а також стихійних гідрометеорологічних явищ та вироблення відповідних рекомендацій стосовно можливих шляхів пом'якшення й мінімізації наслідків, стає дедалі складнішим і, через велику кількість факторів, які необхідно при цьому враховувати, практично неможливим без використання комп'ютерних систем підтримки прийняття рішень (СППР). У таких системах велике значення набуває детальна оцінка поточного й майбутнього стану навколошнього середовища, зокрема, атмосфери як у режимі реагування на аварійні ситуації та стихійні гідрометеорологічні явища в реальному часі, так і в режимі планування, з метою зниження ризиків для населення від забруднення навколошнього середовища. Подібні оцінки можуть бути здійснені шляхом використання відповідних математичних моделей.

Головною проблемою сучасних СППР, в яких використовується прогностична метеорологічна інформація, є розбіжності між розрахунковими даними моделей та даними вимірювань, які знижують ступінь достовірності розрахованих такими системами прогнозних оцінок і запропонованих рішень. Особливого значення набуває можливість засвоєння даних вимірювань у розрахунках метеорологічних моделей подібних систем. Під засвоєнням даних (data assimilation) розуміються оцінки поточного та минулого стану повітряного середовища, а також параметрів метеорологічних моделей (наприклад, потужності викиду), які враховують і дані вимірювань, і априорні (модельні) оцінки цих характеристик. Зростаюча складність використовуваних моделей приводить до необхідності розробки нових методів засвоєння. Одночасно, інтегрування різноманітних метеорологічних моделей у СППР реального часу вимагає розробки нових ефективних чисельних схем розв'язку.

рівнянь моделей та інформаційних технологій автоматизації відповідних обчислювальних процесів.

На нинішньому етапі суспільного розвитку людство починає усвідомлювати, що зростаючі економічні, соціальні та екологічні проблеми є наслідком неправильної поведінки людей. Загострення цих проблем змушує переосмислити головні етичні засади життедіяльності людини і суспільства. Для визначення пріоритетних напрямків спільніх дій на рівні світової спільноти прийняті документи (Rio+20 «Майбутнє, якого ми хочемо», Хартія Землі), в яких знайшли відображення загальновизнані правила поведінки по відношенню до природи.

Своїм непродуманим втручанням у хід природних процесів суспільство призвело до порушення природної рівноваги в межах окремих регіонів і в глобальних процесах массоенергопереносу на планеті. Наслідком цього стали процеси, які змінюють звичні умови проживання людей, в тому числі радіоактивно-забруднені території.

Вдосконалення системи забезпечення екологічної безпеки, яка існує в Україні, повинно сьогодні стати одним з пріоритетних напрямів державної політики на основі системного аналізу, з урахуванням процесів трансформації в економіці та державному управлінні. Тому головним завданням на найближчу перспективу є мінімізація рівня антропогенного впливу на навколошнє середовище.

Беручи до уваги постійну зміну навколошнього середовища під впливом антропогенного впливу, промислових об'єктів, атомних електростанцій виникає необхідність достовірного виконання завдань екологічного прогнозування і забезпечення екологічної безпеки на основі застосування екологічного моніторингу з використанням безпілотних літальних апаратів і космічних систем спостереження. Розширення можливостей екологічного моніторингу можна здійснити з комплексним використанням дистанційно пілотованих літальних апаратів спостереження при використанні дистанційних методів контролю параметрів навколошнього середовища, а також за рахунок вдосконалення науково-методичного апарату оцінки стану зон екологічного

ризику на основі методів ранжирування екологічних показників і багатокритеріальної оцінки екологічної безпеки екосистеми.

За даними «Національної доповіді про стан навколошнього природного середовища у 2015 році» нинішню екологічну ситуацію на території України в цілому можна охарактеризувати як напружену. Існуючий рівень екологічної безпеки в основному обумовлений надзвичайно високим техногенним навантаженням на території України.

Швидкий розвиток техногенних об'єктів є невід'ємною рисою сучасного етапу розвитку людства. Їх експлуатація дозволяє вирішувати численні завдання підвищення рівня і якості життя людей, забезпечення безпеки індивідуумів, спільнот і держав. У той же час спорудження, експлуатація і демонтаж техногенних об'єктів в свою чергу породжують чинники небезпеки, що обумовлюють можливість негативного впливу на людей та навколошнє природне середовище. Багато екологічних проблем сучасності пов'язані з різким зростанням виробництва і споживання енергії, використанням ядерної енергії, екстенсивним використанням шкідливих хімічних речовин. Разом з прискоренням темпів технічного прогресу вплив господарської діяльності людини на природу стає все більш руйнівним. Величезне регіональне навантаження території України потужними промисловими та енергетичними об'єктами (у 2017 році в Україні існувало за даними Державної служби України з питань праці 9919 об'єктів підвищеної небезпеки), наявність застарілого обладнання, яке використовується на об'єктах підвищеної небезпеки, відсутність систем раннього виявлення загроз виникнення надзвичайних ситуацій збільшує ризик аварій, збитки від яких можна порівняти з розміром національного бюджету середньої країни. А наявність в Україні значних територій з несприятливим природним впливом та схильністю до проявів небезпечних природних явищ підсилює гостроту проблеми щодо вивчення стану техногенної та природної безпеки та необхідність пошуку шляхів його покращення.

Тому проблема забезпечення безпеки життєдіяльності людини стає все більш актуальною. Попередження та ліквідація надзвичайних ситуацій

техногенного й природного характеру з метою збереження життя та здоров'я людей, забезпечення сталого розвитку країни є однією зі складових національної безпеки держави, яку неможливо забезпечити без детального аналізу існуючого стану техногенної та природної безпеки, спостереження за ним у довгостроковій динаміці та розроблення заходів зі зменшенням ризиків виникнення НС.

Зона відчуження і зона безумовного (обов'язкового) відселення (зона відчуження) належать до категорії радіаційно-небезпечних земель та являють собою забруднену радіонуклідами територію (основні з них ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{241}Am , ізотопи Pu). Результати радіаційно-екологічного моніторингу зони відчуження підтверджують забрудненість практично всіх складових довкілля. За рахунок процесів перерозподілу та міграції радіонуклідів, задепонованих після аварії у захороненнях, ландшафтах, замкнених водоймах, окремих об'єктах, відбувається процес формування вторинних джерел, доступних для «споживання» за межами зони відчуження, що робить їх потенційно небезпечними.

Одним з пріоритетних напрямків національної безпеки України є забезпечення екологічно та техногенно-безпечних умов життєдіяльності громадян і суспільства, збереження навколошнього середовища та раціональне використання природних ресурсів. В умовах техногенних катастроф тобто в період коли діяльність людини є вирішальним фактором в процесі трансформації геологічного і суміжних середовищ, на перше місце виходять методологічні засади екологічної безпеки в межах системи „людина-техносфера”. Механізм прогнозування принукає використання великої кількості змінних і чинників, що відповідно приводить до стрімкого нагромадження експериментальних даних у розглянутій прикладній сфері й ускладнює комплексну інтеграцію. Побудова прогнозу динаміки аномалій й одержання на його основі оцінки можливих наслідків потребує не тільки регулярного виконання серії спостережень, але й наявності ефективних способів їхнього оброблення.

Щодо проблеми забезпечення екологічної безпеки при попередженні та ліквідації лісових радіоактивних пожеж доцільне визначити, що проблема лісових пожеж останніми роками привертає до себе особливу увагу в контексті зростання впливу таких глобальних процесів, як зменшення площ лісів світу, втрата біорізноманіття, глобальні зміни клімату та зміни у землекористуванні. Це пов'язано з комплексністю й неоднозначністю впливу лісових пожеж на ліси, довкілля та громади, що живуть навколо лісів. Лісова пожежа залежно від її інтенсивності, погодних умов, характеристик лісових горючих матеріалів може бути позитивним фактором для розвитку лісу або фатальним, що знищує екосистему як таку.

Аварія на ЧАЕС стала причиною найбільшої техногенної радіаційної катастрофи в історії людства. Відсутність у перші роки достатніх знань про властивості і поведінку радіоактивних випадань не дозволяла в повній мірі коректно оцінювати екологічний ризик, особливо в близькій зоні аварії, прогнозувати вплив радіоактивного забруднення на навколишнє природне середовище, а також оптимізувати заходи щодо ліквідації наслідків надзвичайної ситуації. Лісові пожежі, які регулярно виникають у зонах радіаційного забруднення ЧАЕС нині є найбільш небезпечним природним явищем у лісах, яке є локальною

Незважаючи на те, що згідно з існуючими правилами ліси, забруднені радіонуклідами, віднесені за режимом охорони до найбільш небезпечного, пожежі в них відбуваються регулярно, що зумовлено як багатьма антропогенними чинниками, так і самою природою лісових пожеж, які завжди були важливим чинником сукцесії лісу. В той же час, результати наукових досліджень переконливо довели, що перенесення радіонуклідів з димом та золою від радіаційних лісових пожеж, які генерують відкриті джерела випромінювання, є головним шляхом вторинного забруднення з негативними наслідками для населення та довкілля. Таким чином, на значних площах радіаційно-забруднених лісів створилася нова екологічна обстановка, якісно відмінна від незабруднених лісів. Головною особливістю її є підвищена

вірогідність лісової пожежі та радіоактивного забруднення чистих територій, що знижує ефективність контрзаходів щодо нерозповсюдження радіонуклідів.

Традиційний спосіб отримання інформації про стан навколошнього середовища і техногенних об'єктів, який здійснюється наземними службами, не завжди забезпечує необхідну оперативність оновлення даних.

Забезпечення життєдіяльності суспільства – складна проблема, яка потребує вирішення комплексу завдань з організації управління прогнозування та моніторингу надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру. З розвитком сучасних технологій дедалі більшої популярності набуває застосування безпілотних літальних апаратів у різних сферах цивільного захисту, від дистанційного зондування території до ідентифікації небезпечних отруйних речовин, що допомагає в короткі терміни оцінити стан великої площи досліджуваної території.

Як показує практика, для правильної організації управління якістю навколошнього природного середовища необхідною умовою є формування повноцінної системи моніторингу. Система моніторингу навколошнього середовища розглядається як система спостережень, збору, обробки, передачі, збереження та аналізу інформації про стан довкілля, прогнозування його змін та розробки науково обґрунтованих рекомендацій для прийняття рішень про запобігання негативним змінам стану довкілля та дотримання вимог екологічної безпеки.

За допомогою системи моніторингу виявляються критичні ситуації, виділяються критичні фактори впливу і найбільш чутливі до впливу елементи біосфери.

Аналіз літератури показав, що на сьогоднішній день напрацьовано різні методи, механізми, принципи і методики визначення стану навколошнього середовища при проведенні екологічного моніторингу з використанням аерокосмічних технологій. Це підтверджується проведеними дослідженнями та працями в галузі застосування аерокосмічних технологій для задач екології та природокористування таких вчених, як Азаров С.І., Аверін Г.В., Белявський Г.О., Бондар О.І., Бугор О.М., Булко Н.І., Бусигін Б.С., Ващенко В.М.,

Волошин В.І., Востоков А.Б., Вульфсон Л.Д., Гавриль А.П., Гарбук С.В., Гаркавий С.Ф., Гершензон С.Е., Гонін Р.Б., Горбулін В.П., Горєлов В.А., Гош С.К., Гречищев А.В., Гришин Ю.І., Драновський В.Й., Ємець Н.А., Зібцев С.В., Зубова Л.Г., Кац Я.Р., Козлов Н.П., Коначевський В.М., Костюченко Ю.В., Котляр О.Л., Кохан С.С., Красовський Р.Я., М. З. Лавривский М.З., Лебедєв А.А., Лихачов Ю.А., Лялько В.І., Мокін В.Б., Монкліонене Я., Нестеренко В.П.; Петрук В.Г., Петросов В.А., Попов М.О., Присяжний В.І., Ребрин Ю.К., Рудько Г.І., Сахацький А.В., Соколов Ю.М., Станкевич С.А., Стрільців В.А., Тарапико О.Г., Толкачева Н.В., Федоровський О.Д., Ходоровський А.Я., Чандра А.М., Чумаченко С.М., Шабалева М.А., Шапар А.Г., Шмандій В.М., Шматков Г.Г., Яцків Я.С. та ін.

Відомо, що одним з перспективних методів проведення екологічного моніторингу є дистанційний, який базується на основі комплексного використання космічних, повітряних і рухомих наземних комплексів спостереження. Система моніторингу повинна в інформаційному плані забезпечити організацію необхідних інформаційних потоків і покращити спостереження за основними процесами і явищами в біосфері. Для прийняття раціональних управлінських рішень необхідною умовою є наявність якісного телекомуникаційного (інформаційного) забезпечення по динаміці різноманітних показників, що характеризують стан навколошнього середовища.

Згідно концепції SCOPE (з англ. - Наукового комітету з проблем навколошнього середовища) систему повторних спостережень одного і більше компонентів навколошнього середовища в просторі і в часі з певними цілями і згідно з попередньо підготовленою програмою було запропоновано називати моніторингом. Відомо, що термін «моніторинг» (від латинського monitor - той, хто спостерігає) виник перед проведеним Стокгольмської конференції ООН по довкіллю (Стокгольм, 5-16 червня 1972). Основні елементи моніторингу як системи, вперше описані в роботі Р. Манна (R. Mann, 1973).

Відомо, що природно-техногенні системи (ПТС), в межах яких зазвичай розвиваються процеси руйнівного характеру, є цілісними територіальними

утвореннями, які формуються в тісній взаємодії людей, природних і штучних об'єктів, серед яких виділяються цільові об'єкти, що мають певну цінність і тому вимагають стійкості до виникнення надзвичайних (аварійних, катастрофічних) ситуацій. При виникненні надзвичайних ситуацій для зменшення їх руйнівного впливу необхідно приймати рішення щодо локалізації і ліквідації наслідків за мінімально можливий час. При цьому в цих умовах виникає дефіцит часу при прийнятті управлінських рішень в умовах надвисокої відповідальності. Оскільки своєчасне і обґрутоване прийняття рішень дозволяє зменшити збитки від надзвичайних ситуацій в навколишньому середовищі. Тому, на теперішній час, є актуальною науково-практична проблема підтримки прийняття рішень в умовах надзвичайних ситуацій, що має безпосередній зв'язок з оцінкою природного ризику.

Питання підтримки прийняття рішень в умовах надзвичайних ситуацій природного характеру знайшли своє відображення в роботах багатьох вітчизняних і зарубіжних вчених, в тому числі Скуріхіна В.І., Івахненко О.Г., В.Є. Снітюка, М.М. Биченка, А.М. Грішина, Н.М. Куссуль, C.J. Van Western, P. Avesani, A. Perini, F. Ricci та інших. В даний час активно ведуться дослідження в області створення ризик-орієнтованих систем підтримки прийняття рішень в умовах надзвичайних ситуацій, в основі яких лежать ідеї В.М. Глушкова, М.З. Згурівського, П.І. Білюка, Н.М. Куссуль, Т.С. Рака, І.В. Шостака, С.В. Скакуна, А.Ю.Шелестова, D.E Calkin, M.P. Thompson, M.A. Finney, C. Miller, A.A. Ager, M.S. Kappes, E. Chuvieco, T.Aven, A.A. Bachmann, V. Gallina, K. Hyde, C.C. Hardy та інших, інтенсивно досліджується також використання геоінформаційних технологій.

Серед процесів, що виникають в природно-техногенній системі (ПТС), існує особливий клас процесів – процеси руйнівного характеру (ПРХ), під якими в контексті дослідження маються на увазі просторово-розділені небезпечні природні явища, що протікають в ПТС та за свою інтенсивністю, масштабом розповсюдження й тривалістю можуть становити негативні наслідки для самої системи та її зовнішнього середовища у вигляді матеріальних збитків та порушення умов життєдіяльності людей. Тож, ПРХ є

проявом збурюючих впливів, що порушують стабільне функціонування системи.

Усі ці напрями та чинники об'єднує загальне науково-практичне завдання, - створення методологічних основ геоінформаційної технології підтримки прийняття рішень в природно-територіальних системах в умовах надзвичайних ситуацій природного характеру, що заснована на своєчасній оцінці ризику.

Тому тема дисертаційної роботи Жарікової М.В., яка присвячена рішенню цієї наукової проблеми є актуальною.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.

Автор добре розуміє специфіку задачі, що розглядається у дисертації та коректне формулює її постанову. Аналіз проблеми підтримки прийняття рішень в природно-техногенних системах в умовах надзвичайних ситуацій природного характеру, розробка концептуально-методичних основ побудови ризик-орієнтованої геоінформаційної системи підтримки прийняття рішень щодо нештатних ситуацій в умовах в реальному часі, які виконано досить кваліфіковано, склали основу пошуку рішень проблеми створення геоінформаційної технології підтримки прийняття рішень в природно-техногенних системах за умов руйнівних процесів.

Для вирішення поставлених у дисертаційній роботі завдань використано: системний підхід, методи теорії топологій для побудови просторової моделі природно-техногенної системи; формальний апарат м'яких множин для побудови структури топологічних просторів, що складають просторову модель; методи нечітких, наблизених, м'яких множин і їх комбінації для побудови наближеного контуру природних процесів руйнівного характеру та урахування невизначеності оцінки ризику.

Здобувачем застосовано методи теорій множин та ієрархій для формалізації моделі динаміки природних процесів руйнівного характеру; методи теорій алгебраїчних кілець та графів для формалізації мережної моделі

подання знань і моделі узгодженості правдоподібних деревоподібних структур, що моделюють динаміку природних процесів руйнівного характеру.

З'ясовано, що одним із методів представлення динаміки природних процесів руйнівного характеру є метод байєсівських мереж та теорії стрибкоподібних марківських процесів.

Під час проведення досліджень автор спирається на відомі факти та наукові досягнення в обраній сфері, які отримані з використанням апробованого математичного апарату, який є адекватним інформаційним технологіям підтримки прийняття рішень в природно-техногенних системах за умов руйнівних процесів.

Розроблені автором практичні рекомендації ґрунтуються на розробленому ним науково-методичному апараті, який є достатньо чутливим для відповідних змін вихідних даних.

Відмічаю, що наукові положення та рекомендації, які сформульовані у висновках по всіх семи розділах (стор. 85-86, 132-133, 172-173, 227-229, 266-269, 306-307, 342-343) та загальних висновках (стор. 344-348) зроблено науково обґрунтовано і логічно за результатами аналізу, узагальнення відомих та отриманих результатів, теоретичних досліджень, а також експериментальної перевірки інформаційної технології здійсненої шляхом експерименту, в якому було опрацьовано масив ретроспективних даних, що відображають сценарії розвитку каскаду лісових пожеж, який мав місце 19-26 серпня 2007 р. на території Кардашинського, Іюрупинського та Голопристанського лісництв (Херсонська обл.), та виконано порівняння з результатами роботи ГІСППР.

Достовірність одержаних результатів.

Достовірність наукових положень, які захищаються здобувачем, висновків і рекомендацій підтверджується їх відповідністю методології дослідження поставленої проблеми; нового розгляду на теоретичному і експериментальному рівнях об'єкту дослідження, що охоплюють його змістовні і процесуальні характеристики; застосуванням комплексу методів, адекватних предмету дослідження; тривалістю практичної роботи і можливістю її відтворення.

Достовірність і обґрутованість результатів дисертації ґрунтуються на:

- використанні результатів системного аналізу проблемної області, в ході якого досліджено питання підтримки прийняття рішень в умовах надзвичайних ситуаціях природного характеру;
- узгодженості з наявними результатами інших авторів, які надруковано у вітчизняній та зарубіжній літературі;
- даних про успішне практичне застосування запропонованих технологій у процесі експериментальної перевірки наукові положення і результати дисертаційної роботи використані при розробці програмних продуктів: комп'ютерної картографічної інформаційної системи лісництва "CARTINFOSYSTEM" (а.с. №20790 від 01.06.2007) та комп'ютерної програми моделювання розповсюдження лісових пожеж «SIMSPREADFIRE» (а. с. №20441 від 09.10.2008), на основі яких створено і впроваджено комп'ютерну програму "Cartographic_system" в Управлінні агропромислового розвитку Іванівського району Херсонської області (акт про впровадження від 02.10.2007).

Наукова новизна та важливість результатів, які одержані автором в дисертації, полягають в наступному:

У результаті проведених досліджень вирішена науково-прикладна проблема розробки теоретичних основ, інструментального базису та геоінформаційної технології ризик-орієнтованої підтримки прийняття рішень в природно-техногенних системах в умовах надзвичайних ситуацій природного характеру, яку засновано на використанні динамічної просторово-розподіленої моделі ризику в умовах швидконаведених процесів руйнівного характеру, що забезпечує достатню деталізацію в просторі та часі.

На основі виконаних досліджень отримано такі нові результати.

ВПЕРШЕ:

- розроблено просторову модель територіальної системи, яка містить процес руйнівного характеру, що розвивається, у вигляді накладення статичних та динамічних правдоподібних топологічних просторів, яка, на відміну від існуючих моделей, дозволяє відображати різноманітну динамічну просторово-

прив'язану інформацію та забезпечує пристосування до умов неповної та неточної інформації;

- розроблено динамічну модель процесу руйнівного характеру на основі правдоподібної деревовидної мережі подій, яка представляє собою багаторівневий гіперліс полімультидерев, що, на відміну від існуючих моделей процесів руйнівного характеру, дозволяє моделювати розповсюдження процесів руйнівного характеру одночасно від декількох джерел в системах реального часу з врахуванням впливу навколошнього середовища та впливів рішень, а також дозволяє знизити обчислювальну складність та описувати події, що характеризуються неповними та недостовірними параметрами;

- розроблено метод якісної оцінки динаміки цінності об'єктів, поданої у вигляді вектору значень цінностей різних категорій, що, на відміну від існуючих статичних моделей цінності, дозволяє оцінювати динаміку цінності об'єктів в умовах розвитку надзвичайної ситуації природного характеру та у відповідь на прийняті рішення, а також вирішує проблему порівнянності цінності різних об'єктів;

- розроблено метод просторово-розподіленої оцінки загроз, представленої у вигляді динамічного топологічного простору, що складається з множини зон з розмитими межами, які розташовані навколо контуру процесу руйнівного характеру і представляють собою території з різним ступенем загрози для цінних об'єктів, та дозволяє виконувати просторово-розподілену оцінку ризику, що є необхідною для діагностики поточної ситуації в умовах надзвичайної ситуації природного характеру;

- розроблено метод якісної оцінки природного ризику, який, на відміну від існуючих кількісних методів, дозволяє подолати проблему обчислювальної складності, пов'язану з виконанням надлишкової множини імітацій;

- запропоновано метод подання ризику як просторово-розподіленого процесу, що заснований на трьох стадіях – потенційного ризику, ризику загроз і ризику руйнувань, та, на відміну від існуючих методів, дозволяє описувати динаміку ризику в системах реального часу, а також дає більш повне уявлення

про природу ризику та стимулює прийняття більш обґрунтованих рішень в умовах надзвичайних ситуацій природного характеру.

ОТРИМАЛИ ПОДАЛЬШІЙ РОЗВИТОК:

- модель ризику, що враховує ймовірність процесу руйнівного характеру, його інтенсивність та ефект, розширена за допомогою додаткової компоненти – загрози, яка є прогностичною просторово-часовою складовою ризику та дозволяє в будь-який момент часу прогнозувати можливість втрат та оцінювати ризик для конкретних цінних об'єктів при розвитку процесу руйнівного характеру в умовах ліміту часу;

- модель переходу станів в деревовидній мережі подій, яка представлена у вигляді можливісного стрибкоподібного Марківського процесу, та на відміну від існуючих моделей, дозволяє враховувати інтервал часу та оцінку можливості переходу із одного класу станів в інший для елементарних ділянок терitorіальної системи, охоплених процесом руйнівного характеру, що, на відміну від застосованого в даний час ймовірісного підходу, дозволяє більш адекватно оцінювати шанс охоплення цінного об'єкта процесом руйнівного характеру реальному часі, коли про ймовірність в статистичному сенсі не може бути мови.

УДОСКОНАЛЕНО:

- модель подання знань деревовидною мережею подій, в якій, на відміну від існуючих мереж, кінцеві вузли асоційовані не тільки з моментами часу спостереження подій, але й з відповідними елементарними ділянками терitorіальної системи, що забезпечує їх одночасну прив'язку до простору та часу, за рахунок чого дозволяє більш адекватно моделювати динаміку процесу руйнівного характеру;

- архітектуру деревовидної мережі подій для моделювання динаміки процесу руйнівного характеру, в якій, на відміну від існуючих мереж, вузли, що відповідають елементарним ділянкам місцевості, в кожен момент часу знаходяться у відповідному класі станів, на множині яких введено відношення досяжності, та можуть поєднуватися лугами в тому випадку, якщо класи станів, в яких вони знаходяться, поєднані відношенням досяжності, що дозволяє

будувати мережі, які адекватно відображують динаміку процесу руйнівного характеру з різним ступенем деталізації за рахунок використання множин класів станів різної потужності;

- модель марківського процесу для моделювання просторово-розділених систем з невизначеною структурою, яку, на відміну від існуючих моделей, побудовано на основі правдооподібної деревовидної мережі подій, що дозволяє описувати динаміку зміни станів елементарних картографічних об'єктів не ізольовано, а під впливом сусідніх об'єктів та адекватно діагностувати ситуацію за рахунок подання структури системи у кожен момент модельного часу у вигляді розмитого топологічного простору.

Розроблені та удосконалені методи, методики, моделі у поєднанні з алгоритмами їх застосування формують методологію створення та застосування геоінформаційної технології підтримки прийняття рішень в природно-техногенних системах за умов руйнівних процесів.

Предметом дослідження у роботі є моделі та методи ризик-орієнтованої підтримки прийняття рішень в природно-техногенних системах в умовах надзвичайних ситуацій. Визначається, що проявом факторів, що обурюють є процеси руйнівного характеру, в результаті яких можуть виникати надзвичайні ситуації та є підставою для прийняття рішень, заснованих на оцінці ризику та спрямованих на збереження цінності та захист цільового об'єкту.

Автором визначається, що для прийняття рішень в природно-техногенній системі в нештатних (аварійних) ситуаціях доводиться аналізувати значні обсяги неповної, неточної інформації, що швидко змінюється в часі, при істотних обмеженнях часу на оцінку обстановки і прийняття рішення, що дозволяє віднести природно-техногенну систему до класу слабкоструктурованих складних динамічних систем, а проблему підтримки прийняття рішень – до класу складних і важкоформалізованих проблем.

В роботі обґрутовано, що необхідність прийняття рішень за мінімальний час внаслідок високої динаміки ситуацій, а також великого обсягу різномірної вхідної інформації, частина якої є невизначеною, висуває завдання, вирішення яких перевинує фізіологічні можливості особи, що приймає

рішення. Застосування існуючих методик оцінки ризику, заснованих на статистичних методах з використанням імітаційних моделей, пов'язане з неприйнятною обчислювальною складністю, яка є непринутимою в системі підтримки прийняття рішень. Визначається, що існуючи статистичні методи оцінки ризику пов'язані з обробкою даних, що описують великі площини, та не забезпечують достатньої деталізації розподіленої в просторі оцінки ризику, яка потрібна для прийняття обґрутованих рішень, а також засновані на статичній оцінці ризику, яку складно застосувати в системах підтримки прийняття рішень реального часу, де потрібна динамічна реакція при прийнятті рішень в умовах швидкоплинних несподіваних ситуацій.

Новим у роботі є те, що для усунення протиріч пропонується гіпотеза, згідно з якою підвищити своєчасність, обґрутованість та ефективність рішень в ризик-орієнтованих геоінформаційних системах підтримки прийняття рішень в реальному часі можливо за умов використання динамічної моделі ризику, заснованої на просторово-розподілений моделі територіальної системи, яка враховує вплив навколишнього середовища, а також забезпечує достатню деталізацію в просторі і часі.

Створення геоінформаційної технології ризик-орієнтованої підтримки прийняття рішень в умовах надзвичайних ситуацій в реальному часі, яка заснована на динамічній оцінці ризику, є актуальною науково-прикладною проблемою, вирішенню якої присвячено дисертаційні дослідження. Оскільки методологія ризик-орієнтованої підтримки прийняття рішень реального часу в умовах надзвичайних ситуацій на сьогоднішній день розроблена недостатньо, а визначена проблема занадто далека від свого вичерпного рішення, в зв'язку з випадками надзвичайних ситуацій природного характеру, що почастішали, вона набуває особливої актуальності.

В роботі розроблено концепцію ризику, що заснована на трьох стадіях: потенційного ризику, джерело якого описується небезпекою, ризику загроз від активного сценарію процесу руйнівного характеру, та ризику руйнувань від активного сценарію, який викликає зміну цінності природного об'єкту, що, на відміну від існуючих концепцій ризику, дозволяє описувати динаміку ризику,

якого зазнає цінний об'єкт від певного сценарію нештатної ситуації, в системах реального часу.

Запропоновано модель ризику, яка враховує ймовірність процесу руйнівного характеру, його інтенсивність та ефект, розширити за допомогою додаткової компоненти – загрози, яка є прогностичною просторово-часовою складовою ризику та дозволяє в будь-який момент прогнозувати можливість втрат та оцінювати ризик для конкретних об'єктів в умовах розвитку процесу руйнівного характеру. В роботі загрозу подано у вигляді низки диференційованих за рівнями і розташованих навколо контуру просторових зон, кожна з яких визначає межі тієї частини природно-техногенної системи, де проявляється загроза певного рівня, що дозволяє діагностувати ситуацію в цілому для підтримки прийняття рішень.

При цьому просторову модель природно-техногенної системи в умовах нештатної ситуації, подано у вигляді накладення статичних і динамічних правдоподібних топологічних просторів, суміщених в єдиній системі координат, кожний з яких побудовано на основі відношення нерозрізnenості відповідних картографічних об'єктів, або областей чи зон, що, на відміну від існуючих моделей, дозволяє відображати різнопідвиди динамічну просторово-прив'язану інформацію.

Обґрунтовано, що внаслідок неможливості побудови суверих топологічних просторів через невизначеність і неточність доступної інформації топологія має бути розмитою, що дозволить отримувати апроксимацію значень атрибутів за допомогою наближених або нечітких множин, яка забезпечить пристосування до умов неповної та неточної інформації та дозволить побудувати такі простори з використанням даних моніторингу.

Пропонується просторову модель природно-техногенної системи побудувати у вигляді топологічного простору за допомогою відношення нерозрізnenості на основі множини статичних параметрів ділянок місцевості, що породжує множину класів природних умов. В цій моделі на множині станів комірки в умовах нештатної ситуації введено впорядкований набір фаз, пов'язаних відношенням досяжності, що дозволяє представити динаміку

процесу руйнівного характеру у вигляді послідовності змін фаз комірок; на множинах станів зовнішнього середовища і станів умов місцевості також виділено відповідні множини класів. Для подання невизначеної інформації запропоновано модель правдоподібності, яку побудовано на основі напівкільця, що припускає спільне використання в рамках однієї структури множини часових міток, імовірнісних, нечітких і наближених оцінок правдоподібності та їх комбінацій, за допомогою яких надалі побудовано формальну модель правдоподібних деревовидних мереж подій, які є основою для подання знань про динаміку процесів в природно-техногенній системі.

Запропоновано модель подання знань про динаміку процесу руйнівного характеру представити у вигляді деревовидної мережі подій, в якій, на відміну від існуючих мереж, кінцеві вузли, що відповідають подіям переходу комірки з однієї фази в іншу, асоційовані не тільки з моментами часу їх спостереження, але й з відповідними елементарними ділянками природної системи, що забезпечує їх одночасну прив'язку до простору та часу, за рахунок чого здійснюється можливість побудови більш адекватної моделі динаміки процесу руйнівного характеру.

Запропонована деревовидна мережа подій для моделювання динаміки процесу руйнівного характеру, на відміну від існуючих мереж, має вузли, що відповідають елементарним ділянкам місцевості, на множині яких введено відношення досяжності, та можуть поєднуватися дугами в тому випадку, якщо класи станів, в яких вони знаходяться, поєднані цим відношенням, що дозволяє будувати мережі, які адекватно відображують динаміку непідатних ситуацій з різним ступенем деталізації за рахунок використання множин класів станів різної потужності.

В основу формалізації деревовидної мережі подій покладено множину ієрархій подій, таких як таксономічна, композиційна, просторова, часова, досяжності, сумісності, у вигляді мультиграфу складної структури, яка може бути використана для подання частково впорядкованих сукупностей подій різного рівня абстракції, які відбуваються одночасно, спостерігаються

множиною джерел і характеризуються неповними та недостовірними параметрами спостереження.

Формальну модель правдоподібних деревовидних багаторівневих мереж подій побудовано шляхом доповнення моделі правдоподібних деревовидних мереж подій каузальними відношеннями, які, на відміну від існуючих різновидів мереж подій, є багаторівневим гіперлісом полі-мультидерев та дозволяють моделювати розновидження процесу руйнівного характеру одночасно від декількох джерел в системах реального часу з врахуванням впливу навколошнього середовища та рішень, які приймаються.

Запропоновано просторову модель природно-техногенної системи в стабільному стані описувати множиною геотаксонів, кожному з яких відповідає певна оцінка небезпеки виникнення нештатної ситуації певного класу в умовах певного стану зовнішнього середовища. Оцінки небезпеки виникнення процесів руйнівного характеру кожного класу описуються матрицями небезпеки, які відображають оцінки небезпеки для всіх можливих комбінацій класів умов місцевості і зовнішнього середовища, що дозволяє здійснювати оцінку потенційного ризику для цінних об'єктів.

Запропонований метод побудови шаблону правдоподібної деревовидної мережі подій для моделювання процесу руйнівного характеру дозволяє на основі аналітичної моделі динаміки процесу руйнівного характеру, методу імітаційного моделювання та моніторингу помітити дуги мережі значеннями часу та правдоподібності. Шаблон є гнучким, оскільки дозволяє адаптацію до будь-якого розміру комірки в умовах будь-яких параметрів зовнішнього середовища та рішень з боку особи, що їх приймає. Запропоновано також алгоритми навчання та отримання висновків на мережі. Наявність шаблонів динаміки процесів руйнівного характеру різних класів дозволяє знизити обчислювальну складність прогнозування нештатних ситуацій та описувати події, що характеризуються неповними та недостовірними параметрами.

Модель функціонування природно-техногенної системи в умовах нештатної ситуації подано у вигляді правдоподібного стрибкоподібного марківського процесу, побудованого на основі правдоподібної деревовидної

мережі подій, що дозволяє враховувати інтервал часу та оцінку можливості переходу із одного класу станів в інший для елементарних ділянок територіальної системи, охоплених процесами руйнівного характеру.

Модель марківського процесу для моделювання просторово-розділених систем з невизначеною структурою, на відміну від існуючих моделей, побудовано на основі правдоподібної деревовидної мережі подій, що дозволяє описувати динаміку зміни станів елементарних картографічних об'єктів не ізольовано, а під впливом сусідніх об'єктів та адекватно діагностувати ситуацію за рахунок подання структури системи у кожен момент модельного часу у вигляді розмитого топологічного простору.

Структура природно-техногенної системи у кожний момент модельного часу представлена за допомогою м'якої множини, що поєднує підмножини комірок, що знаходяться в тій чи іншій фазі, у вигляді топологічного простору. Пристосування до умов невизначеної інформації здійснюється шляхом розмивання меж між множинами комірок, що належать різним фазам, за допомогою комбінації м'якої множини з нечіткими, наблизеними, нечіткими наблизеними або інтервальними нечіткими наблизеними множинами комірок, які знаходяться в різних фазах, що дозволяє адекватно представити просторову конфігурацію комірок та діагностувати ситуацію в природно-техногенних системах в умовах процесів руйнівного характеру.

Доведено, що при використанні даних моніторингу розмиту структуру природно-техногенної системи зручно представляти за допомогою наближеної множини чи інтервальної наближено-нечіткої множини комірок, розглядаючи тільки дві фази динаміки комірок (не охоплені та охоплені процесом руйнівного характеру).

Запропонований метод якісної оцінки динаміки цінності об'єкта спостереження, заснований на використанні вектору значень цінностей різних категорій та функцій втрат цінності за кожною категорією, на відміну від існуючих статичних моделей цінності, дозволяє оцінювати динаміку цінності об'єктів в умовах розвитку надзвичайної ситуації, а також вирішує проблему порівнянності цінності різних об'єктів.

Для розробки методу кількісної розмитої оцінки рівня загрози в умовах процесу руйнівного характеру, запропоновано використовувати розмиту структуру природно-техногенної системі у вигляді розмитого топологічного простору. Метод просторово-розділеної оцінки загроз використовує динамічний топологічний простір, що складається з множини просторових зон з розмитими межами, які розташовані навколо контуру процесу руйнівного характеру і представляють собою території з різним ступенем загрози для цінних об'єктів, та дозволяє виконувати просторово-розділену оцінку ризику, що є необхідною для діагностики поточної ситуації в умовах надзвичайних ситуацій.

Оцінка ризику виконана за використання можливісного підходу, який дозволяє більш адекватно оцінювати ризик в умовах розвитку надзвичайної ситуації, коли про ймовірність в статистичному сенсі не може бути мови. Метод подання ризику дає більш повне уявлення про його природу та стимулює прийняття більш обґрунтованих рішень в умовах надзвичайних ситуацій.

В роботі розроблено нову геоінформаційну технологію ризик-орієнтованої підтримки прийняття рішень в НГС в умовах ПРХ, яка складається з послідовності взаємопов'язаних інформаційних процесів, що використовують розроблені в дисертації методи та моделі та спрямовані на вирішення задач дисертації. Технологія дозволяє збирати, зберігати, накопичувати, обробляти та виводити інформацію для прийняття управлінських рішень.

Інформаційний процес моніторингу засновано на використанні безпілотних літальних апаратів та методів дистанційного зондування, що дозволяють виявляти потенційні джерела несплатної ситуації та спостерігати за розвитком процесу руйнівного характеру, що вже розповсюджуються.

Інформаційний процес моделювання автор здійснює на розробленій в дисертації формальній правдоподібній моделі динаміки процесу руйнівного характеру. Це дозволяє отримувати розмитий контур процесу руйнівного характеру, який є вхідною інформацією для інформаційного процесу аналізу

ризику. Інформація про розташування розмитих контурів процесу руйнівного характеру на етапі аналізу ризику дозволяє побудувати зони загроз, на основі яких отримується просторово-розділена інтегральна оцінка мультиризику, що є підставою для діагностики ситуацій.

Поседнання в одній геоінформаційній технології інформаційних процесів моніторингу та моделювання дозволило використовувати результати вимірювань сенсорів не тільки в явній формі, але й опосередковано для оцінки розмитого контуру процесу руйнівного характеру, а також для оцінки вхідних параметрів розробленої в дисертації формальної правдоподібної моделі динаміки процесу руйнівного характеру, за допомогою якої можна прогнозувати розповсюдження непідатної ситуації. Порівняння двох розмитих контурів процесів руйнівного характеру, отриманих за допомогою розпізнавання інформації від сенсорів та в результаті моделювання, дозволяє корегувати модель процесу руйнівного характеру.

В момент виникнення ризиків в природно-техногенній системі створюється проблемна ситуація, що потребує діагностики з метою прийняття адекватних рішень щодо мінімізації ризиків. Інформаційний процес діагностики ситуації базується на комбінації прецедентного підходу та підходу, заснованого на правилах, що забезпечує зменшення обсягу бази прецедентів. Використання гібридного підходу до діагностики ситуації дозволяє обійти проблему подання знань експертів.

Запропонована сукупність моделей, методів і алгоритмів складає теоретичні основи синтезу геоінформаційної технології ризик-орієнтованої підтримки прийняття рішень в слабкоструктурованих, динамічних природно-техногенних системах в умовах швидкоплинних процесів руйнівного характеру, що характеризуються неповнотою, неточністю та невизначеністю вихідної інформації.

Практичним застосуванням запропонованої геоінформаційної технології є ризик-орієнтована геоінформаційна система підтримки прийняття рішень реального часу, створена на основі розроблених у попередніх розділах моделей та методів та використана для розв'язання задач просторової

прив'язки, моделювання, діагностики ситуації в умовах надзвичайних ситуацій, які породжуються множиною процесів руйнівного характеру.

Інформаційні процеси розробленої технології реалізовані в окремих додатках програмного продукту, створеного на основі гнучкого шаблону проектування модель-шаблон-представлення, що дозволило відокремити інформаційні процеси один від одного та легко вносити зміни в реалізацію певного процесу без змін в реалізації інших процесів, що полегшує подальше розширення проекту.

В роботі було проведено дослідження впливу розміру комірок територіальної системи на час обчислення оцінки ризику для геотаксону та на точність апроксимації меж контуру лісової пожежі. Оцінка результатів дослідження показала, що запропонована геоінформаційна система підтримки прийняття рішень забезпечує прийнятні характеристики щодо точності та швидкодії за умови дискретизації простору (місцевості) з розмірами комірок від 8 до 14 м.

Для оцінки результатів дослідження було проведено ряд експериментів на основі запропонованої геоінформаційної системи з використанням розроблених в дисертації моделей та методів. Оцінка результатів експериментів показала, що використання запропонованої геоінформаційної системи забезпечує підвищення оперативності прийняття рішень в середньому до 30%, ефективності рішень до 47%, якість рішень до 36% та дозволяє своєчасно приймати адекватні рішення на основі оцінки ризику для цінних об'єктів в значно складніших ситуаціях, та відповідно зменшити реальні збитки в умовах надзвичайних ситуацій природного характеру.

Аргументування та критичне оцінювання порівняно з відомими рішеннями запропонованих автором нових рішень.

В даний час створені умови для практичного вирішення задач ризикорієнтованої ГІР в умовах ГРХ в просторово-часовому масштабі. Цьому сприяє розвиток комп'ютерної техніки та інформаційних технологій, таких як геоінформаційні системи (ГІС), а також доступність геопросторових і статистичних даних за допомогою мережі Інтернет. Геопросторові дані, що

описують місцевість, онлайн відомості про погодні умови сьогодні є доступними для багатьох регіонів світу, а існуючі моделі динаміки ПРХ дозволяють ефективно використовувати наявні дані. На сьогоднішній час створено та експлуатується багато систем, які призначенні як для вирішення задач автоматизації окремих робочих місць спеціалістів, що забезпечують управління в умовах НСНХ, так і для забезпечення державного, міждержавного та міжнародного управління та контролю за надзвичайними ситуаціями (НС). Такі системи мають різні функціональні задачі: від виконання розрахункових та інформаційно-довідкових функцій до безпосередньо ПНР. Прикладом міждержавної інформаційної системи є Глобальна інформаційна мережа GDIN, створена урядом США в 1997 році, яка надає інформацію, пов'язану зі стихійними лихами, та здійснює підтримку прийняття рішень. Система поєднує низку міжнародних, державних, недержавних і комерційних організацій в області реагування на НС. У США розроблений комплекс програм HAZUS, що дозволяє оцінювати ризик від деяких НСНХ, таких як повені, землетруси, урагани та ін. з метою побудови плану дій щодо ліквідації наслідків таких НС. Обмеженням даного комплексу програм є те, що він не враховує ризик від декількох НС, що поширюються одночасно. У Новій Зеландії розроблена система програмного забезпечення RiskScape для аналізу ризиків від декількох НСНХ, таких як повені, землетруси, цунамі, урагани вітри. Методологія RiskScape дозволяє порівнювати різні джерела небезпеки за допомогою функції нестійкості, яка визначає відношення між НС, характеристиками ресурсів, що знаходяться в умовах ризику, і потенційним збитком. За підтримки координаційного центру з попередження стихійних лих в Центральній Америці (CEPREDENAC) розроблена ГІС-орієнтована система CAPRA, заснована на аналізі статистичних даних, що дозволяє проводити оцінку ймовірності ризику землетрусів, ураганів, вивержень вулканів, повеней, цунамі та пов'язаних з ними збитків. В Німеччині функціонує розподілена система збору та пошуку інформації IMIS, що здійснює постійний моніторинг навколошнього середовища з метою надання інформації та прогнозування радіаційної обстановки. Існує ряд проектів, що фінансуються Європейським

Союзом та спрямовані на розробку методології оцінки ризиків від природних НС (посухи, землетруси, повені та ін.) і техногенних НС (аварії об'єктів ядерної енергетики і ін.). Це такі проекти, як NaRAs, MATRIX, CLUVA, ByMur, EPSON HAZARD 1.3.1. Зазначені проекти базуються на різних підходах: від найбільш простого у використанні якісного до кількісного, який забезпечує більш точну оцінку елементів ризику. На якісній оцінці ризику засновані проекти ESPON-HAZARD 1.3.1 і MATRIX, особливістю яких є використання методу Дельфі, що передбачає складання анкет з питаннями для групи експертів, де їм пропонується висловити свої суб'єктивні оцінки ризику від певних НС. У проекті ESPON анкети, запропоновані експертам, дозволяють ранжувати НС, що аналізуються, на основі набору вагових значень, які подають значущість кожної НС на узагальненій мані. У проекті MATRIX якісний метод дозволяє інтегрувати знання кінцевих користувачів для ідентифікації НС і вразливих об'єктів. В цілому метод Дельфі характеризується суб'єктивністю і вимагає багато часу та організаційних зусиль. Кількісні методи оцінки ризику, такі як зважені суми, байесовські мережі, імовірнісні підходи, були використані в проектах NaRAs, CLUVA, ByMur. Прикладом автоматизованих систем підтримки прийняття рішень в НС є європейська комплексна система RODOS, яка є результатом розробки більш, ніж 20 європейських інститутів та призначена для підтримки прийняття рішень в реальному масштабі часу в умовах НС, пов'язаних з радіаційною ситуацією в Європі. Система містить підсистеми аналізу та оцінки ситуації, а також вибору ефективних контраходів. Система RODOS в рамках проекту TACIS TA REG 02/3 була впроваджена в Україні. Система РОДОС-Україна забезпечує раннє попередження та радіаційний моніторинг на основі даних мережі метеорологічних станцій України, оброблених УкрГідрометцентром. Традиційно отримання інформації для ППР в умовах НСПХ здійснюється за допомогою експертів безпосередньо на місцевості або шляхом аналізу даних, які надходять від супутників, протипожежних винок тощо. Однак останні досягнення в області сенсорних та авіаційних технологій привели до створення нових можливостей для застосування безпілотних літальних апаратів (БПЛА)

для виявлення та моніторингу ПРХ з метою ППР в системах реального часу. Автоматичні системи широко використовуються в СНПР в умовах НСПХ. Більшість систем виявлення ПРХ базуються на наземних камерах. Це такі системи, як BOSQUE, яка спрямована на виявлення пожеж за допомогою інфрачервоної камери, та ARTIS-FIRE, яка здійснює виявлення димового шлейфу за допомогою візуальних камер.

Недоліки таких систем полягають в тому, що вони не охоплюють всю територію, а також не здатні здійснювати точні спостереження в умовах мінливого навколишнього середовища. Для автоматичного виявлення пожеж також використовуються супутникові системи, але їх використання супроводжується затримкою виявлення та низькою розділовою здатністю супутниковых даних. Моніторинг ПРХ зазвичай здійснюється експертами, що оцінюють візуально або за допомогою камер швидкість розповсюдження, інтенсивність та інші характеристики. Використовуються також керовані літальні апарати, що дозволяють спостерігати за розповсюдженням ПРХ, але вони коштують дорого, а їх використання пов'язане з ризиком для людини, яку залучено до керування. Моніторинг за допомогою БПЛА дозволяє автоматично отримувати актуальну спосесну інформацію, що забезпечує владіння ситуацією та інформованість ОПР під час прийняття рішень в умовах НСПХ, та дозволяє знизити ризик для людей, залучених до моніторингу. БПЛА мають можливість спостерігати за територією, передавати зображення та відеоінформацію. Аерофотознімки, особливо накладення зображень в декількох проекціях, і матеріали відеозйомки ПРХ дозволяють діагностувати ситуацію під час НСПХ та визначати об'єкти, які знаходяться в умовах максимального ризику. БПЛА можуть відігравати важливу роль також і в ліквідації НСПХ. Існуючі СНПР на основі БПЛА забезпечують оцінку динаміки контуру ПРХ в географічних координатах в реальному часі. Сфера використання БПЛА для виявлення та моніторингу ПРХ сьогодні розвивається досить активно. В СНІА було досліджено використання єдиного БПЛА зі складними сенсорами для гасіння лісових пожеж в проекті FIRE. Групу більш простих БПЛА було використано для виявлення та моніторингу лісової пожежі

в європейському проекті COMETS. Таким чином, інтеграція БПЛА та методів дистанційного зондування забезпечує пивидке та порівняно дешеве вирішення багатьох задач, що виникають під час ППР в умовах ПРХ, тому багато дослідників приділяють підвищенню увагу використанню БПЛА. Незважаючи на позитивні результати, багато питань, пов'язаних з системами моніторингу ПРХ за допомогою БПЛА, включаючи їх архітектуру, платформи, сенсори, алгоритми дистанційного зондування та обробки зображень, залишаються недостатньо дослідженими та потребують подальшого дослідження.

На сьогоднішній день для розв'язання задач екологічної безпеки та раціонального використання природних ресурсів все ширше впроваджуються системи підтримки прийняття рішень (СППР), засновані на математичних моделях динаміки навколошнього природного середовища.

Завдання екологічної безпеки мають комплексний характер, що вимагає при їх вирішенні взаємодії на рівні потоків інформації моделей метеорологічних, гідрологічних, океанологічних, гідрогеологічних процесів, моделей переносу забруднень у навколошньому середовищі, в біологічних екосистемах і харчових ланцюгах. Зазвичай, розрахункові моделі є вузькоспеціалізованими і описують процеси тільки одного з можливих природних діапазонів. Нерідкі ситуації, коли СППР створюється на основі блоків, створених різними групами розробників, без урахування їх сумісності з іншими моделями. Таким чином, основним завданням СППР є забезпечення чіткого, простого шляху інтеграції обчислювальних моделей і системи, а також реалізації можливості інтеграції моделей між собою шляхом об'єднання в обчислювальні ланцюжки. Іншою, не менш важливою задачею, є надання достатньо зручного інтерфейсу для ініціалізації, управління ходом розрахунку моделі, візуалізації та пост-обробки результатів, щоб користувач системи мав можливість і бажання користуватися нею самостійно. Найбільш складною є така задача в комплексних екологічних додатках, для яких, поряд з інтеграцією різних розрахункових моделей, виникає завдання організації їх взаємодії з базами даних (БД), у тому числі з БД реального часу, інтерфейсом користувача, геоінформаційною системою (ГІС). Задачам побудови систем

підтримки прийняття рішень, які базуються на математичних моделях, приділялася велика увага в роботах вітчизняних та закордонних дослідників (Дейнека В.С., Додонов О.Г., Згуровський М.З., Казimir В.В., Куссуль Н.М., Лаврищева К.М., Литвинов В.В., Мокін В.Б., Петренко А.І., Петрухін В.О., Сергієнко І.В., Трофімчук О.М., Тульчинський В.Г., Верес О.М., Гофман Д.С., Argent R.M., Jagers B., Marakas G.M, Moore A.V., Rizolli A.E. та ін.).

В останні роки стали відомими спеціалізовані моделюючі системи-каркаси для керування інтегрованими до них моделями: OpenMI, TIME, Kepler, OMS та інші. Вони мають різну функціональність, яка дозволяє організовувати обчислювальні ланцюжки, а деякі з них – надають для цього графічний інтерфейс. Але розробка СППР на їх основі може мати значні недоліки, особливо якщо початкова предметна область моделюючої системи відрізняється від предметної області СППР. Автоматизація процесів запуску розрахунків моделей, збору, аналізу, зручне представлення та поширення результатів, суттєво розширити коло можливих користувачів та забезпечить підвищення надійності, оперативності та зниження трудомісткості процесу використання обчислювальних модулів. Зміна поколінь інструментальних засобів програмування дозволяє розробляти більш ефективні засоби автоматизації інтеграції моделей у СППР ніж у попередні десятиріччя. Таким чином, створення нової інформаційної технології для інтеграції математичних моделей, баз даних і ГІС у системи підтримки прийняття рішень з екологічної безпеки є актуальною.

Железняком М.Й. та Свдіним С.О. зроблено опис сучасних СППР з проблем екологічної безпеки та природокористування, з якого випливає, що поряд із задачею інтеграції різних розрахункових моделей та організації їх взаємодії необхідно інтегрувати їх у СППР із зручним графічним інтерфейсом, способом зберігання інформації у базі даних, підсистемою побудови звітів, геоінформаційною системою та іншою функціональністю, яка відсутня у звичайному моделюючому фреймворку.

У роботах Козулі Т.В., Смельянової Д.І. обґрунтована доцільність застосування комплексного підходу щодо розробки методичного забезпечення

оцінки якості і безпечності системних об'єктів з позицій сталого розвитку. Визначена необхідність запровадження системної основи об'єкта дослідження для отримання оцінки екологічності за результатами MIPS- і ризик-аналізу, встановлення рівня безпеки для прийняття рішень щодо управління якістю природно-техногенних комплексів (ПТК). Розроблено інформаційно-алгоритмічне забезпечення для практичної реалізації методичної підтримки комплексної оцінки екологічності системних об'єктів з урахуванням зв'язку між їх станом і процесами внутрішньої самоорганізації і зовнішньої взаємодії з навколошнім середовищем та з використанням розробленого програмного продукту в середовищі розробки Visual Studio.

В роботах А.В. Акімова запропоновано методичний апарат дослідження природного та техногенного ризику. Наукові основи прогнозування природно-техногенної (екологічної) безпеки України розробили Б.М. Данилишин, В.В. Ковтун, А.В. Степаненко. Аналіз та прогноз природно-техногенної безпеки крупних міст із застосуванням іелінійних методів запропонував Іщенко Г.Г. Питанням екологічної безпеки України: системному аналізу перспектив покращення присвячено праці А.Б. Качинського.

Оцінку природно-техногенної безпеки життєдіяльності населення України в розрізі районів, виділених за рівнем природно-техногенних небезпек, запропонував А.Л. Мельничук. Технологію системного аналізу та моделювання небезпечних процесів в техносфері запропонував П.Г.Белов.

Системні принципи інформатизації управління природно-техногенною безпекою запропоновано в працях таких вчених, як М.М.Биченок, С.О. Довгий, О.М. Трофимчук. В їх працях створено методологічні основи геоінформаційної технології підтримки прийняття рішень в природно-територіальних системах в умовах надзвичайних ситуацій природного характеру, що заснована на своєчасній оцінці ризику.

В дисертаційній роботі розроблено метод динамічної оцінки цінності системи цільових об'єктів в умовах надзвичайних ситуацій природного характеру та аналізу просторово-розподілених ризиків. Запропоновано ризик-орієнтований метод діагностики ситуації в природно-територіальній системі в

умовах надзвичайних ситуацій природного характеру. Розроблено геоінформаційну технологію ризик-орієнтованої підтримки прийняття рішень в природно-техногенних системах в умовах надзвичайних ситуацій природного характеру в реальному часі.

Порівняльний аналіз з відомими рішеннями запропонованих автором нових рішень дозволяє визначити нові підходи до створення та застосування технологій підтримки прийняття рішень в природно-техногенних системах за умов руйнівних процесів.

Усі вище зазначені чинники визначають аргументування та критичне оцінювання запропонованих автором нових рішень порівняно з відомими рішеннями.

Практична значимість та важливість для галузі полягає в тому, що автор запропоновано наукові основи (концепції, принципи, моделі, методи) та інструментальний базис (алгоритми та інформаційна технологія) розробки динамічних ризик-орієнтованих геоінформаційних систем підтримки прийняття рішень в ПТС в умовах надзвичайних ситуацій природного характеру. Автором здійснено експериментальну перевірку та впровадження наукових положень і результатів дисертаційної роботи при розробці програмних продуктів: комп'ютерної картографічної інформаційної системи лісництва "CARTINFOSYSTEM" (а.с. №20790 від 01.06.2007) та комп'ютерної програми моделювання розповсюдження лісових пожеж «SIMSPREADFIRE» (а.с. №20441 від 09.10.2008). Результати дисертаційних досліджень використано в комп'ютерній програмі "Cartographic_system" в Управлінні агропромислового розвитку Іванівського району Херсонської області (акт про впровадження від 02.10.2007), прикладній програмі системи координаційного управління силами і засобами при ліквідації лісових пожеж в Державній Службі України з надзвичайних ситуацій в Херсонській обл. (акт про впровадження від 19.11.2014), системі підтримки прийняття рішень при ліквідації лісових пожеж в Збур'ївському лісовому господарстві Херсонської області (акт про впровадження від 13.03.2017).

Результати роботи доцільно впровадити в державну систему екологічного моніторингу навколишнього природного середовища та техногенно-небезпечних об'єктів, об'єктів критичної інфраструктури.

Результати дисертаційних досліджень (геоінформаційна система прогнозування лісових пожеж, геоінформаційна технологія оцінки небезпеки лісових пожеж, динамічна геоінформаційна система керування лісовими ресурсами регіону, нечітко-наближена модель динаміки процесів руйнівного характеру) доцільно використовувати при здійсненні стратегічних екологічних оцінок в Міністерстві екології та природних ресурсів України.

Дисертацію виконано відповідно до пріоритетних цілей, сформульованих в «Стратегії державної екологічної політики України на період до 2030 року», «Національному плану дій з охорони навколишнього природного середовища на 2016-2020 роки», які відповідають зобов'язанням України в рамках виконання «Угоди про асоціацію між Україною та Європейським Союзом» та полягають в забезпеченні сталого розвитку природно-ресурсного потенціалу України, зниженні екологічних ризиків для екосистеми, уdosконаленні та розвитку державної системи природоохоронного управління.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність у цілому, відповідність оформлення дисертації вимогам, затвердженим МОН України.

У *вступі* обґрунтовано актуальність теми, показано зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами, визначено мету і завдання дослідження, розглянуто об'єкт і предмет дослідження, наведено перелік методів дослідження, які були використані для досягнення поставленої мети. Сформульовано наукову новизну отриманих результатів, а також особистий внесок здобувача в їх досягнення. Висвітлено питання апробації та публікації результатів дисертації.

У *першому разділі* на основі системного підходу проведено системологічний аналіз проблемної області, в ході якого досліджено питання підтримки прийняття рішень в умовах надзвичайних ситуацій природного характеру. Показано, що природно-техногенні системи є цілісними територіальними утвореннями, що створюються в процесі взаємодії людей,

природних і штучних об'єктів, серед яких окрім виділяються цільові об'єкти, що мають певну цінність для життєдіяльності і тому вимагають захисту від природних процесів руйнівного характеру. Показано, що природно-техногенна система за наявності природних процесів руйнівного характеру є просторово-розподіленою складною динамічною системою, проблема прийняття рішень щодо управління якою відноситься до класу складних і важкоформалізованих, та зроблено висновок, що для заданого класу систем на даний час не існує науково-обґрунтovаних методів підтримки прийняття рішень, а використання традиційних методів не забезпечує належну ефективність та своєчасність прийняття рішень. Сформульовано гіпотезу, згідно з якою підвищити своєчасність, обґрунтованість та ефективність рішень в ризик-орієнтованих геоінформаційних системах підтримки прийняття рішень під впливом множинних природних процесів руйнівного характеру в реальному часі можливо за умов використання динамічної моделі ризику, заснованої на просторово-розподіленій моделі територіальної системи та моделі природних процесів руйнівного характеру, які розвиваються в її межах, що дозволяє врахувати вплив навколишнього середовища та рішень особи, що їх приймає, а також забезпечити достатню деталізацію в просторі і часі.

У *другому розділі* вирішено задачі розробки концептуальних основ геоінформаційної технології ризик-орієнтованої підтримки прийняття рішень в природно-техногенних системах в умовах надзвичайних ситуаціях природного характеру в реальному часі та розробки просторової моделі природно-техногенної системи у вигляді багатовимірного розмитого топологічного простору. Територіальну модель природно-техногенної системи подано у вигляді підпростору двовимірного Евклідового простору, в межах якого розташовано множину природних та штучних картографічних об'єктів, серед яких вирізняється підмножина цінних об'єктів, що мають певну цінність (об'єкти енергетичної, транспортної, рекреаційної інфраструктури тощо) та відносно яких оцінювання ризику є доцільним. Запропоновано розмити топологічні простори узагальненням відношення нерозрізnenості, тобто

шляхом апроксимації значень атрибутів за допомогою наближених або нечітких множин.

У *третьому розділі* вирішено задачу створення просторово-розділеної моделі деревовидної мережі подій для моделювання динаміки природних процесів руйнівного характеру, яку виконано у вигляді багаторівневого гіперлісу полімультидерев, що дозволяє моделювати розповсюдження природних процесів руйнівного характеру одночасно від декількох джерел в системах реального часу з врахуванням впливу навколошнього середовища та рішень особи, яка їх приймає. В моделі подання знань деревовидною мережею подій кінцеві вузли, що відповідають подіям, асоційовані не тільки з моментами часу, але й з певними ділянками місцевості. Запропоновано динаміку природних процесів руйнівного характеру подавати у вигляді зміни стану комірок. В множині можливих станів виділяються певні фази, або підмножини станів, що якісно відрізняються одна від одної. Розбиття множини комірок на фази, породжує відношення нерозрізності. Визначено, що для подальшого аналізу різних аспектів подій, в залежності від точності спостереження, її необхідно класифікувати, дотримуючись певних визначених ієрархій. Введено базові види ієрархій: таксономічну, композиційну, просторову, часову, досяжності та сумісності. Показано, що багаторівнева правдоподібна деревовидна мережа подій є складною структурою, яка дозволяє організувати частково впорядковані сукупності подій, що відбуваються сумісно, в потоки подій різного рівня абстракції, даючи можливість представляти і обробляти неповну і неточну вхідну інформацію про динаміку ситуацій. Формалізм багаторівневих правдоподібних деревовидних мереж подій надає можливість: класифікувати подію, визначивши її клас; встановити порядок та склад подій; ділянку місцевості, де подія має місце; події, які є досяжними та сумісними для. Формалізм багаторівневих правдоподібних деревовидних мереж подій дозволяє подання неповних, неточних і якісно невизначених знань про предметну область за допомогою розмитих і нечітких значень, що оцінюються за допомогою моделі правдоподібності, яку задано на

напівкільці з відображенням на інтервали значень множини-носія, та яка інтегрує різні способи подання невизначеності.

Четвертий розділ присвячено вирішенню задачі розробки правдоподібної подійно-мережевої моделі динаміки природних процесів руйнівного характеру в природно-техногенних системах. На основі багаторівневої правдоподібної деревовидної мережі подій побудовано динамічну модель природних процесів руйнівного характеру. Динаміку переходів комірок з однієї фази до іншої подано за допомогою просторово-розділеного марківського процесу, модель якого засновано на правдоподібній деревовидній мережі подій, що дозволяє описувати динаміку зміни фаз комірок не ізольовано, а під впливом сусідніх комірок та адекватно діагностувати ситуацію за рахунок подання структури системи у кожен момент модельного часу у вигляді розмитого топологічного простору. В архітектурі деревовидної мережі подій для моделювання динаміки природних процесів руйнівного характеру вузли можуть поєднуватися дугами в тому випадку, якщо класи станів, в яких вони знаходяться, поєднано відношенням досяжності. Для побудови моделі природних процесів руйнівного характеру запропоновано використовувати шаблони мережі для моделювання природних процесів руйнівного характеру певного класу. Доведено, що при використанні даних моніторингу навколошнього природного середовища в системах реального часу, розмиту структуру природно-техногенних систем зручно подавати за допомогою наближеної множини чи інтервальної наближено-нечіткої множини комірок, охоплених природними процесами руйнівного характеру.

П'ятий розділ присвячено вирішенню задач розробки методу динамічної оцінки цінності системи цільових об'єктів в умовах надзвичайних ситуаціях природного характеру; розробки методів аналізу ризиків в природно-техногенних системах; та розробки методу діагностики ситуації в природно-техногенних системах в умовах надзвичайних ситуацій природного характеру за допомогою якісної оцінки ризику. Для якісної оцінки ризику запропоновано методи оцінки його компонент: цінності цільових об'єктів, небезпеки, загрози. Для цього задаються порядкові шкали, що співвідносять кількісні та якісні

значення відповідних компонент ризику з індукованими відношеннями часткового порядку. Запропоновано метод динамічної оцінки цінності цільових об'єктів в системі реального часу в умовах природних процесів руйнівного характеру, що подає динаміку якісної оцінки цінності цільових об'єктів у вигляді вектору значень цінностей різних категорій та дозволяє оцінювати динаміку цінності об'єктів в умовах розвитку надзвичайних ситуацій природного характеру та/або у відповідь на прийняті відповідного рішення, а також вирішує проблему порівнянності цінності різновидів об'єктів. Розроблено метод просторово-розподіленої оцінки загроз, поданої у вигляді динамічного топологічного простору, що складається з множини зон з розмитими межами, які розташовані навколо контуру природного процесу руйнівного характеру і з територіями з різним ступенем загрози для цінних об'єктів, що дозволяє надалі виконувати просторово-розподілену оцінку ризику, яка є необхідною для діагностики поточної ситуації в умовах надзвичайної ситуації природного характеру. Запропоновано метод подання ризику як просторово-розподіленого процесу, що формується за допомогою динамічного накладення топологічних просторів, які відображають надзвичайні ситуації природного характеру, небезпеки та загрози, та представляє собою багатовимірний топологічний простір, що, на відміну від існуючих методів подання ризику, дає більш повне уявлення про його природу та стимулює прийняття більш обґрутованих рішень в умовах надзвичайних ситуацій природного характеру. Показано, що для підтримки прийняття рішень необхідно вирішити задачу діагностики ситуації в природно-техногенній системі, для чого треба задати множину класів можливих ситуацій в природно-техногенній системі. З цією метою введено функцію ідентифікації, яка дозволяє встановити клас ситуації, і функцію класифікації ситуації.

Шостий розділ присвячено розробці геоінформаційної технології ризик-орієнтованої підтримки прийняття рішень в природно-техногенних системах в умовах надзвичайних ситуацій природного характеру, яка складається з послідовності взаємопов'язаних інформаційних процесів: просторової прив'язки; моніторингу природно-техногенної системи; моделювання

природних процесів руйнівного характеру; аналізу загроз та ризиків цільовим об'єктам; діагностики ситуації; візуалізації. Інформаційні процеси базуються на розроблених в дисертації методах і моделях та спрямовані на вирішення задач дисертації. Технологія дозволяє збирати, зберігати, накопичувати, обробляти та виводити інформацію для прийняття управлінських рішень. Розглянуто питання організації моніторингу стану природно-техногенної системи за допомогою безпілотних літальних апаратів з метою виявлення негативних змін у вигляді природних процесів руйнівного характеру та розробки рекомендацій з їх усунення або ослаблення, що дозволяє своєчасно виявляти та швидко ліквідувати надзвичайну ситуацію природного характеру, мінімізуючи потенційні збитки. Показано методи отримання та оцінювання певних параметрів природних процесів руйнівного характеру, таких як площа, інтенсивність та пов'язана з нею швидкість розповсюдження. Інформаційний процес моделювання засновано на розробленій в дисертації формальній правдоподібній моделі динаміки процесу руйнівного характеру, що дозволяє отримувати розмитий контур природного процесу руйнівного характеру, який є вхідною інформацією для інформаційного процесу аналізу ризику. Розташування розмитих контурів природних процесів руйнівного характеру на етапі аналізу ризику дозволяє побудувати зони загроз, на основі яких отримується інтегральна оцінка мультиризику, що є підставою для діагностики ситуації. Розроблена модель динаміки пожежі дозволяє, виходячи з наявних спостережень стану середовища, оцінювати і прогнозувати стан різних її об'єктів в процесі розвитку пожежі. Геоінформаційна система підтримки прийняття рішень вирішує завдання аналізу загроз, розглядаючи сукупність всіх можливих сценаріїв розвитку природних процесів руйнівного характеру, для чого на основі когнітивної карти ситуації, що відображає взаємозв'язки між параметрами об'єктів і зовнішнього середовища, будуться матриця ризику для необхідних моментів часу; і вирішиться задача синтезу рішення, що передбачає побудову адекватного наявним загрозам наряду сил і плану заходів з протидії природним процесам руйнівного характеру (наприклад, гасіння пожежі). Посlidнання в одній геоінформаційній технології інформаційних

процесів моніторингу та моделювання дозволяє використовувати результати вимірювань сенсорів не тільки в явній формі, але й опосередковано для оцінки розмитого контуру природного процесу руйнівного характеру, а також для оцінки вхідних параметрів розробленої в дисертації правдоподібної моделі динаміки процесу руйнівного характеру, за допомогою якої можна прогнозувати розповсюдження природного процесу руйнівного характеру. Порівняння двох розмитих контурів природних процесів руйнівного характеру, отриманих за допомогою розпізнавання інформації від сенсорів та в результаті моделювання, дозволяє корегувати модель природного процесу руйнівного характеру.

В *сьому разділі* представлено ризик-орієнтовану геоінформаційну систему підтримки прийняття рішень реального часу, що є практичним застосуванням запропонованої геоінформаційної технології, яку створено на основі розроблених у попередніх розділах моделей та методів та використовують для розв'язання задач просторової прив'язки, моделювання, діагностики ситуації для особи, що приймає рішення в умовах надзвичайної ситуації природного характеру, що породжуються множиною природних процесів руйнівного характеру. За допомогою експериментів підтверджено, що використання цієї системи забезпечує підвищення оперативності прийняття рішень до 30%, ефективності рішень до 47% та дозволяє своєчасно приймати адекватні рішення в надзвичайних ситуаціях природного характеру. Побудовано модель динамічної ризик-орієнтованої геоінформаційної системи підтримки прийняття рішень. Результати експерименту доводять, що використання геоінформаційної системи підтримки прийняття рішень дозволяє зменшити тривалість оцінки ситуації та вибору рішення особи, що приймає рішення, а також дає можливість знизити залежність від її психофізіологічних і евристичних властивостей та зменшити сукупні ризики від природних процесів руйнівного характеру для цільових об'єктів в умовах надзвичайних ситуацій природного характеру.

У *додатках* наведено європейські проекти з оцінки ризику, порівняння методів оцінки ризику, екранні форми програмного продукту, програмні коди

скриптів проекту GISForestProject, програмні коди шаблонів проекту GISForestProject, список публікацій, у яких опубліковані основні наукові результати дисертації, акти впровадження результатів дисертаційної роботи.

Оцінка мови та стилю викладення дисертації і автореферату. Мова та стиль дисертації та автореферату свідчать про вміння автора аргументовано викладати свої думки та, у цілому, відповідають вимогам МОН України. Сформульовані у дисертаційній роботі основні положення, висновки та рекомендації викладені у логічній послідовності та доказовій формі, що значно сприяє усвідомленню думок автора. Всі розділи дисертації мають внутрішню єдність і завершеність. Змістовне наповнення підрозділів роботи відповідає змісту визначених розділів.

Отримані підсумкові результати дисертації співпадають із загальною метою і конкретними науковими завданнями, сформульованими у вступі. В цілому, дисертаційна робота сприймається як кваліфікаційна закінчена наукова праця, що містить нові наукові результати.

Підтвердження новиноти викладу основних результатів дисертації в наукових фахових виданнях. Наукова новизна безсумнівна та достатня для докторської дисертації. Основні наукові і практичні результати, що отримані в ході дисертаційного дослідження, опубліковано з необхідною повнотою після захисту кандидатської дисертації в 67 наукових працях, зокрема: 1 монографія, 36 публікацій у фахових наукових виданнях, з них 5 одноосібних, 2 авторських свідоцтва. Всього 9 публікацій у наукометричній базі Scopus, з яких 3 публікації у наукових фахових виданнях, та 3 публікації у Web of Science, з яких 2 публікації у наукових фахових виданнях.

Основні положення дисертації послужили предметом наукових обговорень та отримали позитивну оцінку на 28 міжнародних та всеукраїнських конференціях, симпозіумах та семінарах і опубліковані у матеріалах і тезах цих конференцій (2007-2017рр.).

Інформація про отримані результати у кандидатській дисертації здобувача не використовувалась при підготовці докторської дисертації.

Відповідність змісту автореферату основним положенням дисертації.

Зміст автореферату відповідає основним положенням дисертації і дає повне уявлення про отримані результати дослідження та їх наукову новизну та практичну значимість.

Відмічаю в цілому науково-коректний стиль викладення матеріалів дисертації. Назва роботи відповідає суті роботи, яка відповідає паспорту спеціальності 05.13.06 – інформаційні технології.

Недоліки

У якості недоліків у роботі потрібно відмітити наступні.

1. Метою дисертаційної роботи є створення методологічних основ геоінформаційної технології підтримки прийняття рішень в природнотериторіальних системах в умовах надзвичайних ситуацій природного характеру, що заснована на своєчасній оцінці ризику. На мій погляд, незважаючи на те що робота цілком відповідає назві, бажано було визначити запланований результат, на досягнення якого спрямоване дослідження, - підвищення ефективності та оперативності прийняття рішень, та відповідно зменшити реальні збитки в умовах надзвичайних ситуацій природного характеру. Це пов'язано тим, що мета будь-якої наукової роботи, отже, і дисертації, полягає у виявленні нових фактів, висновків, рекомендацій, закономірностей або в уточненні відомих раніше, але недостатньо досліджених.

2. В підрозділі 1.1.2. Концептуалізація проблемної області визначається, основною метою рішень з боку особи, яка приймає рішення в умовах надзвичайних ситуацій є знаходження такої компенсації, яка була б достатньою для подолання збурюючого впливу, але сама не стала б збуренням. Однак математичної формалізації задачі дослідження в роботі не наведено.

3. При розгляді моделі процесу руйнівного характеру у вигляді правдоподібного стрибкоподібного просторово-розподіленого марківського процесу (підрозділ 4.4., стор.187) в роботі передбачається визначення тільки імовірність переходу від вузла до вузла. При цьому не обґрунтовані припущення,

які дозволяють задачу моделювання динаміки процесу руйнівного характеру звести до задачі моделювання зміни фаз комірок.

4. При побудові структури природно-техногенної системи (підрозділ 4.5.) автором здійснюється всі потрібні процедури: ініціалізація станів комірок, формування розмитого марківського процесу, запропоновано способи розмивання меж. Однак сама структура природно-техногенної системи не наведена. При цьому в роботі багато “Визначень”, які пропонує автор як аксіоматичні. Таких визначень в роботі нараховується 64. Мають місце також відомі додаткові термінологічні пояснення. Вважаю було доцільне при цьому використовувати традиційний підхід, щодо термінології теорії нечітких множин та теорії автоматичного керування.

5. Автором запропоновано взаємозв'язок запропонованих методів (рис.6.3, стор. 274), взаємозв'язок інформаційних процесів (рис.6.4, стор.275), процедура обробки зображень протягом місії патрулювання (рис.6.9, рис.286). При цьому бажано було визначити (конкретизувати) інформаційні процеси, певні дані, які використовуються для виконання відповідних процедур.

6. При формуванні структури комплексу інформаційних процесів (підрозділ 6.2., стор.276) в роботі пропонується здійснювати прогноз за допомогою технології автоматичного моніторингу на основі безпілотних літальних апаратів (БПЛА) та методів дистанційного зондування. При цьому автор не відрізняє безпілотні літальні апарати та дистанційно пілотовані літальні апарати, які мають різні принципи застосування та керування. Також пропонується (стор. 285) здійснювати автоматичну обробку зображень на борту БПЛА (рис. 6.9). Існує більш перспективний підхід, - здійснювати інформаційну процедуру на землі (стабілізація та обробка зображень для зменшення розмиття зображення, спричиненого тримтінням камери при фотографуванні або відеозйомці).

7. Бажано було здійснити кореляцію точності характеристик апаратури моніторингу та оперативності і ефективності прийняття рішень. Для практичної реалізації запропонованої геоінформаційної технології ризик-орієнтованої підтримки прийняття рішень в природнотехногених системах в

умовах надзвичайних ситуацій природного характеру потрібно враховувати аеродинамічні характеристики БПЛА, ергонометричні показники оператора та можливості телеметричної мережі передачі інформації.

8. При моделюванні процесу руйнівного характеру і аналізі ризику (6.2.2., стор. 288) автор визначає, що якість моделі може бути покращена за допомогою організації циклу зворотного зв'язку за допомогою нечіткої нейронної мережі. При цьому технологія застосування нейронної мережі не визначена, як у зворотньому зв'язку, так і в процедурі самонавчання.

9. В роботі недостатньо приділено уваги діям особи, яка приймає рішення, які рішення інформаційні, організаційні, оперативні рішення. Запропонована в роботі схема геоінформаційної технології підтримки прийняття рішень за умов руйнівних процесів (рис. 6.18., стор. 305) не дозволяє надати вимоги до оператора в системі прийняття рішень за умов руйнівних процесів відповідного класу.

10. При визначенні інформаційної технології (розділ 6., стор 270) автор визначає, що інформаційні технології, це “сукупність методів, прийомів та програмнотехнологічних засобів, що поєднані у технологічний ланцюжок для забезпечення збору, зберігання, обробки та виведу інформації”. Це визначення відповідає, підходу, який запропоновано Когаловским М.Р. (Перспективные технологии информационных систем. – М.: ДМК Пресс. – 288 с. – 2003.). Однак, доцільне використовувати іншу редакцію (затверджена Постановою президії ВАК України від 14.06.2007 №47-08/6), а саме, що інформаційні технології охоплюють теоретичні і методологічні основи та інструментальні засоби створення і використання інформаційних технологій у різних галузях людської діяльності: розроблення критеріїв оцінювання і методів забезпечення якості, надійності, відмовостійкості, живучості інформаційних технологій і систем, а також принципів оптимізації та моделей і методів прийняття рішень за умов невизначеності при створенні автоматизованих систем різноманітного призначення, дослідження закономірностей побудови інформаційних комунікацій та розроблення теоретичних і прикладних зasad побудови і впровадження інтелектуальних інформаційних технологій для створення

новітніх систем накопичування, переробки, збереження інформації та систем управління.

11. В роботі мають місце окремі стилістичні похибки, наприклад: “суворі математичні методи (стор.52)”, “інтелектуальні методи” (стор. 52), “ідентифікація проблеми” (стор.292). Має місце некоректне представлення Рис. 1.9. - стор 75. Має місце розгляд досить відомого теоретичного матеріалу (стор. 41-43, підрозділ 1.1.1.). Викликає сумнів ствердження автора (стор. 52), що основним джерелом знань в задачі підтримки прийняття рішень в умовах процесу руйнівного характеру є досвід, а не моделі.

Вказані недоліки, вважаю, не знижують науковий рівень дисертації “Методологічні основи геоінформаційної технології підтримки прийняття рішень в природно-техногенних системах за умов руйнівних процесів” та не впливають на позитивне враження від дисертації, як кваліфікаційної роботи, в цілому, завершеність якої не викликає сумніву. Робота містить висунуті автором науково обґрунтовані теоретичні та експериментальні результати, наукові положення, особистий внесок здобувача в науку.

Висновок.

Вивчення дисертаційної роботи, автореферату та опублікованих здобувачем наукових праць дозволяє стверджувати, що дисертаційна робота виконана на актуальну тему, представляє собою логічно завершене наукове дослідження, що містить нові обґрунтовані наукові результати, які в сукупності є вирішенням сформульованої вине науково-технічної проблеми, та відповідає вимогам п. 9, 10, 12-14 «Порядку присудження наукових ступенів» до докторських дисертацій, а здобувач **ЖАРІКОВА Марина Віталіївна** заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології.

Офіційний опонент -

проректор з наукової роботи,
доктор технічних наук, професор,
Заслужений діяч науки і техніки України

Олеся О.А. Манков
5 березня 2018 р.



О.А. Манков