

аэропорта. Вирус, уничтожающий базы данных, попавший в компьютерную сеть супермаркета или банка, не только остановит работу, но и создаст хаос, последствия которого будут носить разрушительный характер, сопоставимый с террористическим взрывом.

Таким образом, чрезвычайные ситуации, вызванные нарушениями информационных потоков хотя бы на одном из восьми типовых этапов прохождения информации, сопровождающей и обеспечивающей работу предприятия, следует относить к новому виду – чрезвычайные ситуации, обусловленные информационными потоками или чрезвычайным ситуациям информационного характера.

V Выводы

1. Независимо от вида чрезвычайная ситуация, нарушающая повседневную жизнедеятельность людей, влияет на техногенную, природную и социальную среду, причем пространственно-временные масштабы этого влияния определяются пространственно-временными масштабами чрезвычайной ситуации.

2. Техногенная составляющая чрезвычайной ситуации, развивающейся вокруг катастрофического события на техногенном объекте, или опасностью его возникновения, сопровождается информационными потоками производственного, управляющего и обеспечивающего назначения, изменяющимися в зависимости от внешних и внутренних условий функционирования этого объекта.

3. Чрезвычайные ситуации, вызванные нарушениями информационных потоков хотя бы на одном из восьми типовых этапов прохождения информации, сопровождающей и обеспечивающей работу предприятия, следует относить к новому виду – чрезвычайные ситуации, обусловленные информационными потоками или чрезвычайным ситуациям информационного характера.

Список использованной литературы: 1. Теракты: биржевой товар третьего тысячелетия. – Доступ: <http://zonakz.net:8444/articles/4103>. 2. Кодекс цивільного захисту України. Вид-во ПАЛІВОДА А. В., Київ 2015, 132 с. 3. Гончаренко Ю. Ю. Оценка эффективности управления чрезвычайной ситуацией / Ю. Ю. Гончаренко, Е. В. Азаренко, Ю. В. Браславский и др. // Сб. науч. тр. СНУЯЭиП. – Вып. 2 (38). – Севастополь: СНУЯЭиП, 2011. – С. 239 – 245. 4. Гончаренко Ю. Ю. Основные требования к системе поддержки принятия решений по предотвращению чрезвычайных ситуаций в прибрежных водах / Ю. Ю. Гончаренко, Е. В. Азаренко, А. Н. Фурсенко и др. // Сб. науч. тр. СНУЯЭиП. – Вып. 2 (34). – Севастополь: СНУЯЭиП, 2010. – С. 216 – 220. 5. Гончаренко Ю. Ю. Защита информации – как один из ключевых аспектов предотвращения чрезвычайных ситуаций / Ю. Ю. Гончаренко, Е. Е. Сычков, В. В. Рыбко // Збірник наукових праць СНУЯЭиП. – Севастополь: СНУЯЭиП, 2012. – Вып. 1 (41). – С. 207 – 211. 6. Гончаренко Ю. Ю. Структура контура управления информационной безопасностью предприятия / Ю. Ю. Гончаренко // Научно-практический журнал «Экономика и управление». – №5. – Симферополь: НАПКС, 2012. – С. 97 – 101. 7. Гончаренко Ю. Ю. Каналы утечки экономической информации предприятия / Ю. Ю. Гончаренко // Научно-практический журнал «Экономика и управление». – №2. – Симферополь: НАПКС, 2013. – С. 83 – 86. 8. Гончаренко Ю. Ю. Математическая модель описания некорректно поставленных задач / Ю. Ю. Гончаренко // Науково-технічний журнал «Реєстрація, зберігання і обробка даних», Том 16. – Київ: Інститут проблем реєстрації інформації НАНУ, 2014. – №2 – С. 52 – 61.

Михайло Дівізінюк, Олександр Попов, Валерія Ковач, Олег Бляшенко, Олена Алексєєва, Кирило Сметанін

Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України»

УДК 504.05 : 502.55

МАТЕМАТИЧНІ ПІДХОДИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В УМОВАХ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРУ

Анотація: Розглянуто питання використання математичних засобів для підтримки прийняття ефективних управлінських рішень в умовах надзвичайних ситуацій техногенного характеру. Виконано аналіз етапів розвитку таких ситуацій та відповідних вражаючих факторів. Досліджено особливості врахування параметрів кожного етапу в математичних моделях. Розглянуто умови та процедура прийняття рішень в умовах надзвичайних ситуацій техногенного характеру.

Summary: The question of the use of mathematical tools to support effective management decision making under emergency situation. The analysis of the stages of development of such situations and relevant affecting factors are considered in the article. The features of each stage of consideration parameters in mathematical models are described. The conditions and procedure of decision making under emergency situation is considered.

Ключові слова: Надзвичайна ситуація, вражаючий фактор, прийняття рішень, системний аналіз, екологічний моніторинг.

I Постановка проблеми у загальному вигляді

Антропогенне навантаження на навколишнє природне середовище в Україні привело до значного підвищення ризику виникнення надзвичайних ситуацій (НС) техногенного та природного характеру, під якими слід розуміти порушення нормальних умов життя і діяльності людей на окремій території чи об'єкті на ній або на водному об'єкті, спричинене аварією, катастрофою, стихійним лихом або іншою небезпечною подією, в тому числі епідемією, епізоотією, епіфітотією, пожежею, яке призвело (може призвести) до неможливості проживання людей на території чи об'єкті, ведення там господарської діяльності, загибелі людей та/або значних матеріальних втрат [1].

Щороку в країні виникає велика кількість НС, які спричиняють великі матеріальні збитки і призводять до людських жертв. Найбільшу небезпеку на сьогодні в Україні становлять аварії: радіаційні, з викидами хімічно і біологічно небезпечних речовин, гідродинамічні, транспортні, на енергосистемах і очисних спорудах; пожежі, вибухи, можливі землетруси та різного роду небезпечні геологічні прояви [1, 2].

Хід і результати робіт із ліквідації НС залежать не тільки від співвідношення ресурсно-економічного, морально-політичного, науково-технічного та організаційного потенціалів системи, але й від ефективності роботи оперативного управління. В свою чергу ефективність процесу прийняття, реалізації та корегування оперативних рішень визначається вмінням керівництва зосередити основні зусилля на головних напрямках ліквідації причин НС та її наслідків [3, 4].

Основою управління є рішення керівника ліквідації НС, який несе повну відповідальність за управління підпорядкованими силами та успішне виконання ними завдань із ліквідації наслідків НС. Управління полягає у рішучому і наполегливому впровадженні заходів, передбачених планом реагування на НС, та прийняття рішень щодо виконання завдань оперативного реагування на НС у встановлені терміни.

Ефективність системи управління щодо ліквідації наслідків НС природного чи техногенного характеру досягається за рахунок використання сучасних математичних підходів та методів підтримки прийняття керівних рішень, аналізу яких присвячена дана робота.

II Літературний огляд

Вагомий внесок у вирішення теоретичних і практичних питань попередження та ліквідації НС природного та техногенного характеру зробили такі науковці, як В. М. Шоботов, В. С. Сергєєв, В. А. Акімов, Г. Л. Кофф, Б. С. Мاستрюков, С. О. Гур'єв та ін. [2, 4-8]. Але в роботах даних вчених висвітлюються переважно питання організаційного та концептуального характеру, та зовсім не приділяється увага використанню математичних засобів для попередження НС техногенного характеру і в разі їх виникнення – для прийняття ефективних рішень для швидкої ліквідації даних ситуацій.

Метою статті є розгляд важливого та актуального питання в сфері екологічної безпеки потенційно небезпечних об'єктів, а саме використання математичних засобів для підтримки прийняття ефективних управлінських рішень в умовах НС техногенного характеру.

III Виклад основного матеріалу дослідження

Згідно зі статистикою сучасних аварій, катастроф та нещасних випадків з людьми найбільший техногенний збиток людським, матеріальним і природним ресурсам наноситься пожежами, транспортними пригодами, вибухами і руйнуваннями будівель. Більшість же техногенних пригод обумовлено неконтрольованим вивільненням кінетичної енергії рухомих машин і механізмів, а також потенційною або хімічною енергією, яка накопичена в судинах високого тиску і паливоповітряних сумішах конденсованих шкідливих речовин, отруйних рідинах і інших шкідливих речовинах [5].

Однією з важливих задач при управлінні під час ліквідації наслідків НС є визначення зон можливого ураження, що дасть можливість мінімізувати ризик для здоров'я населення, яке мешкає в цих зонах, шляхом його вчасної евакуації. Це можливо здійснити лише за допомогою використання сучасних математичних моделей, що дозволяють адекватно описати масоперенесення небезпечної речовини в різних середовищах під впливом багатьох чинників. Використання таких моделей разом із сучасними картографічними пакетами (ArcMap, MapInfo, Surfer тощо) дозволяє в реальному масштабі часу бачити на карті розподіл техногенного ризику в зоні ураження та приймати ефективні управлінські рішення щодо його мінімізації [2, 3].

Виконаємо детальний аналіз етапів розвитку НС техногенного характеру та вражаючих факторів, що завдають шкоди людським і матеріальним ресурсам внаслідок її виникнення.

Можна виділити наступні чотири етапи або стадії [6, 7]:

1) вивільнення накопиченої в людино-машинній системі енергії або запасів шкідливої речовини внаслідок аварії, що там виникла;

2) неконтрольоване поширення (трансляція) їх потоків в нове для них середовище і переміщення в ньому;

3) їх подальше фізико-хімічне перетворення (трансформація) з додатковим енерговиділенням і переходом в новий агрегатний або фазовий стан;

4) руйнівний вплив (адсорбція) первинних потоків та/або наведених ними вражаючих факторів на незахищені від них об'єкти.

Розглянемо ці етапи докладніше. Параметри, що характеризують той чи інший етап, повинні враховуватися в моделях, покладених в основу інформаційно-виміральної і керуючої системи екологічного моніторингу.

Характеристика першого етапу, тобто процесу вивільнення аварійно-небезпечних енергій і речовини, накопичених в об'єктах техносфери, складається з відповідей на наступні питання:

а) що вивільняється?

б) звідки або з чого воно вивільняється?

в) яким чином це сталося або відбувалося?

При цьому основна увага при відповіді на кожне з цих питань буде приділена, згідно з фізико-хімічними властивостями речовини або енергії, їх кількості, що вивільняється, і динаміці (зміни в часі) розглянутого процесу.

Можливі такі основні варіанти відповіді на ці питання:

а) тверде тіло або речовина - газоподібна, рідка, газокраплинна або порошкоподібна, яка може бути інертною і неінертною або змінювати і не змінювати свій агрегатний стан після вивільнення, а також енергія - у формі рухомих тіл або потоку невидимих частинок-хвиль;

б) з генератора (компресора, насоса, джерела енергії) або акумулятора (ємності) - через утворену в них тріщину або отвір;

в) практично миттєво (залповий викид), неперервно - з постійною або змінною витратою і епізодично - регулярно або випадковим чином.

Метою аналізу і моделювання цієї стадії може служити прогнозування таких її параметрів, як кількість раптово або поступово вивільненої шкідливої речовини, інтенсивність і тривалість її витікання, а також щільність потоку тіл чи частинок і напруженість електромагнітних полів або іонізуючих випромінювань.

Особливості протікання другого етапу розглянутого процесу, тобто поширення небезпечних потоків, обумовлені як перерахованими тільки що факторами, так і специфікою простору, що заповнюється речовиною або перебуває між джерелом енергії і підданим її впливу об'єктом. Найчастіше цей простір може бути тривимірним (атмосфера, водойма, ґрунт), мати заповнення - неоднорідне або однорідне, нерухоме або рухоме (несуче середовище), володіти фактично нескінченними розмірами або обмежуватися іншим середовищем, здатним поглинати або відбивати потоки енергії або речовини.

З урахуванням даної обставини можливі різні поєднання істотних для процесів енергомасообміну і потокоутворення факторів, що призводять до різних сценаріїв, починаючи з розтікання рідких речовин по твердій поверхні і завершуючи заповненням всього простору сумішшю аерозолі, газу та/або рідини.

Розглянемо, наприклад, сценарії, пов'язані з поширенням хімічних речовин у повітряному середовищі. Складність моделі тут може бути різною, і це багато в чому залежить від прийнятих припущень. Зокрема, можливі такі варіанти постановки задачі.

1) Приймається припущення про нерухомість атмосфери. У цьому випадку можна виділити основні особливості поширення газоподібних речовин. Вони проявляються зазвичай в утворенні або хмари (для залпового викиду газів), або шлейфа (для їх неперервного витікання), які потім поведуть себе відповідно наступним чином:

а) стеляться над поверхнею або поступово наближаються до неї (важкі гази);

б) торкаються землі або поширюються паралельно поверхні (гази, густина яких близька до густини повітря);

в) підіймаються у вигляді гриба або конуса, що розширюється, поперечні перерізи яких називаються «терміками» («термік») - інтенсивно перемішуване утворення з піднімаючими легкими потоками всередині і більш щільними оточуючими газами, що опускаються через охолодження (легкі гази).

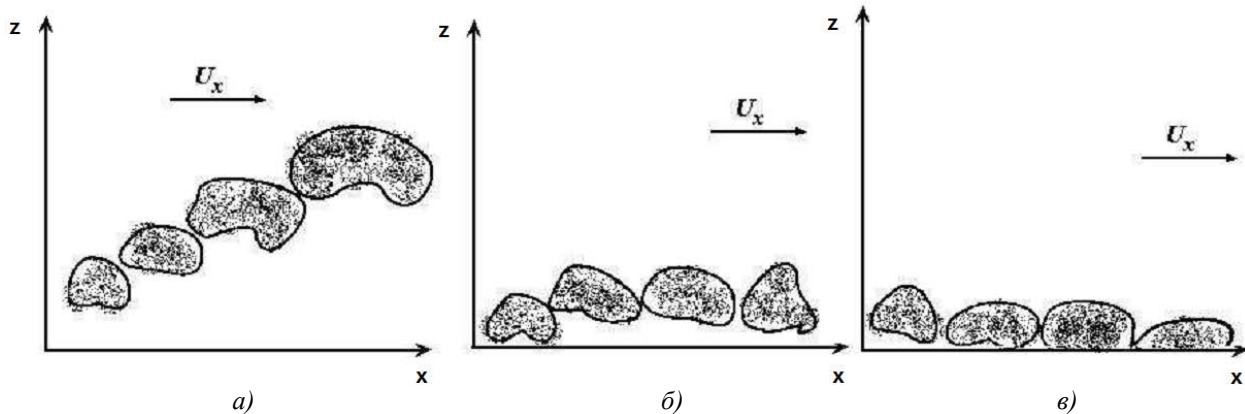
2) Враховується рухливість атмосфери як несучого середовища і характер підстилаючої її поверхні.

Рухливість атмосфери характеризується швидкістю вітру u_x , швидкістю перенесення v_x та вертикальною стійкістю.

Характер підстилаючої поверхні обумовлений рельєфом місцевості та шорсткістю поверхні.

Ці чинники суттєво видозмінюють процес поширення хмари. Зазвичай це призводить до дрейфу шлейфу або хмари в атмосфері з поступовою зміною їх висоти і форми приблизно так, як це показано на рис. 1.

Причинами цього є вплив архимедових сил, а також розмив поверхні цих утворень за рахунок тертя об поверхню землі і турбулентного розсіяння газів в процесі так званої атмосферної дифузії (турбулентна дифузія) [9].



**Рисунок 1 – Поширення хмари аварійно хімічно небезпечної речовини в атмосфері:
а) - легкий газ; б) – газ, густина якого рівна густині повітря; в) - важкий газ**

Величина тертя об земну поверхню зазвичай залежить від розмірів будівель, ярів, дерев, кущів і інших природних шорсткостей.

Вплив атмосфери визначається напрямом і швидкістю циркулюючих в ній потоків, зокрема потоку теплової енергії.

Як інші початкові дані використовуються різні сценарії і фактори, а також кількісні характеристики, отримані при дослідженні першого етапу процесу формування вражаючих чинників.

Третій етап. Трансформація аварійно вивільнених потоків енергії і запасів шкідливої речовини залежить від великої кількості зазначених вище факторів і їх можливих поєднань. Однак домінуюче положення серед них займають ті фізико-хімічні властивості розповсюджених в новому середовищі продуктів викиду, які характеризують їх взаємну інертність. В іншому випадку в утворених або змінених під їх впливом об'ємах простору можливі не тільки різні фазові переходи типу «кипіння-випаровування», але й хімічні перетворення в формі горіння або вибуху, що супроводжуються великим виділенням енергії.

Тут слід особливо виділити два випадки [5, 8]:

- великі проливи аварійно хімічних небезпечних речовин;
- заповнення їх парами порівняно невеликих об'ємів повітряного простору.

І в тому і в іншому випадку можуть створюватися паливоповітряні суміші, здатні до трансформації в одну або декілька із згаданих вище форм («кипіння-випаровування», «горіння/вибух»). Наприклад, залповий викид значної кількості зрідженого вуглеводневого газу супроводжується практично миттєвим випаровуванням з утворенням суміші, здатної потім (після контакту з відкритим вогнем) вибухнути або інтенсивно згоріти.

Метою аналізу і моделювання даної стадії розглянутого процесу є прогнозування не тільки характеру трансформації шкідливих речовин, розсіяних в результаті аварії, але і вражаючих факторів, обумовлених подальшим перетворенням в новому для них середовищі.

Четвертою стадією і кінцевою метою всього дослідження процесу заподіяння техногенного збитку є вивчення вражаючого впливу первинних і вторинних продуктів аварійного викиду на незахищені від них людські, матеріальні та природні ресурси (власне, нанесення збитку). Основними використовуваними при цьому вихідними даними є параметри [2, 7]:

а) вражаючих факторів (перепад тиску у фронті повітряної ударної хвилі, концентрація токсичних речовин, інтенсивність теплових та іонізуючих випромінювань, щільність потоку і кінетична енергія рухомих осколків);

б) потенційних жертв (стійкість і живучість конкретних об'єктів, з урахуванням частоти або тривалості шкідливого впливу на них і якості аварійно-рятувальних робіт).

Сам же збиток від такого впливу доцільно ділити на два види [4, 6]:

а) прямий або безпосередній збиток, обумовлений втратою цілісності або корисних властивостей конкретного об'єкта;

б) непрямий, викликаний руйнуванням зв'язків між ним та іншими об'єктами.

Незважаючи на певну умовність і нечіткість наведена класифікація допомагає переконатися як у багатогранності прояву техногенного збитку, так і в його залежності від великого числа перерахованих факторів. Це дозволяє залучити для дослідження найрізноманітніші моделі і методи.

Сучасна концепція забезпечення безпеки розглядає потенційно небезпечні об'єкти (ПНО) як єдину інтегровану систему. Інформаційно-вимірjuвальна і керуюча система екологічного моніторингу в даному випадку повинна виконувати як інформаційні функції (збір та обробка інформації та її подання персоналу в зручній формі), так і керуючі функції (безпека, автоматичне керування і регулювання, блокування, дистанційне управління у всіх режимах роботи ПНО) [1, 5].

Як правило, НС виникають несподівано. Це відбувається в результаті раптового виходу з ладу деталей, механізмів, машин і агрегатів і може супроводжуватися серйозними порушеннями виробничого процесу, вибухами, катастрофічними затопленнями, утворенням вогнищ пожежі, радіоактивним, хімічним зараженням місцевості і т. д.

Вихідною дією, з якої починається управління, зазвичай вважають вироблення і прийняття рішення. Ця дія передбачає:

- визначення мети управління;
- оцінку обстановки і вихідного стану, в якому знаходиться об'єкт управління;
- прогнозування розвитку ситуації;
- визначення та оцінку послідовності дій, які в сукупності мають привести до досягнення мети управління;
- прийняття найбільш раціональної (за попередніми оцінками) послідовності дій як управлінського рішення.

При оцінці рішення, що обирається, основну роль відіграє визначення ресурсних можливостей реалізації цього рішення, до яких відносяться сили і засоби, фінансові витрати, обсяг витрат, а також їх розподіл.

У процесі управління керівником приймається величезна кількість найрізноманітніших рішень з різними характеристиками. Тим не менше, існують деякі загальні ознаки, що дозволяють цю множину певним чином прорахувати і обрати найбільш вірне рішення. Наскільки правильним буде вибір, залежить від якості даних, що використовуються при описі ситуацій, за яких приймається рішення.

Використовуючи всі можливі варіанти вирішення проблеми, можна сформулювати «поле альтернатив». Однак на практиці керівник рідко володіє достатніми знаннями чи часом, щоб сформулювати і оцінити кожну альтернативу, тому він, як правило, обмежує число варіантів порівняння всього декількома альтернативами, які представляються найбільш підходящими [8].

Процес прийняття рішень може належати до однієї з трьох можливих умов:

1. Прийняття рішень в умовах визначеності, коли дані відомі точно.
2. Прийняття рішення в умовах ризику, коли дані можна описати за допомогою імовірнісних розподілів.
3. Прийняття рішень в умовах невизначеності, коли даним не можна приписати відносні ваги, які показували б ступінь їх значимості в процесі прийняття рішень.

Для поетапного моделювання на прикладі дослідження виникнення і процесу розвитку НС, пов'язаної з викидом аварійно хімічно небезпечних речовин, необхідно розробити комплекс смислових і знакових моделей, що дозволяють встановити основні закономірності виникнення НС та кількісно оцінити міру можливості їх появи. Це можна зробити, використовуючи модифіковані мережі Петрі.

Моделі повинні [2, 3, 6]:

- виявляти умови появи та попередження надзвичайних подій;
- обчислювати ймовірність їх появи.

Вихідними даними для моделювання є: параметри хімічно небезпечного об'єкта (ХНО) (X), людських ресурсів (L), сил і засобів ліквідації НС (C), ймовірність аналогічних НС ($Q(t)$).

Вихідні гіпотези і передумови щодо модельованого явища:

- НС може бути описана відповідно до канонів теорії випадкових процесів в складних системах;
- об'єктом моделювання повинен бути випадковий процес, що виникає на ХНО і завершується появою пригод (аварій або НС);
- потік таких пригод припустимо вважати найпростішим, тобто таким, що задовольняє умовам стаціонарності, ординарності і відсутності післядії;
- кожна подія може виникати при виконанні конкретних технологічних операцій, через помилки персоналу, що випадково виникли, відмов техніки і нерозрахованих зовнішніх впливів.

З урахуванням вищевикладеного можна сформулювати концептуальну постановку задачі моделювання наступним чином:

- представити процес розвитку НС у вигляді процесу просіювання потоку заявок $w(t)$ на конкретні ХНО у вихідний потік випадкових подій з ймовірністю $Q(t)$ їх появи в момент часу t ;
- зобразити даний процес у вигляді потоків (графа, інтерпретуючого виникнення причинного ланцюга пригод з окремих передумов).

Формулювання задачі моделювання у вигляді системи алгебраїчних рівнянь і перевірка коректності математичних співвідношень, з урахуванням гіпотези про найпростіший характер потоку вимог на функціонування ХНО та використанням властивості його інваріантності після розрідження за рахунок виключення подій для отримання залежностей, може бути представлено в наступному вигляді:

$$Q(t) = f(X, L, C, T, t). \quad (1)$$

Далі розробляється процедура апріорної оцінки кожного з параметрів аналітичної моделі і перевіряється коректність всіх отриманих математичних співвідношень із застосуванням всіх відповідних правил.

Задачами управління в режимі НС є оперативне реагування на ситуацію і вироблення дій щодо зменшення або повної ліквідації наслідків НС. Алгоритм відбору комбінацій ліквідаційних заходів дозволяє:

- оптимізувати сценарій ліквідації НС;
- ефективно і обґрунтовано вибирати план ліквідації на основі отриманих прогнозних оцінок і втрат;
- управляти оптимальним розміщенням сил і засобів для ліквідації вражаючих факторів НС;
- моделювати причинно-наслідкові зв'язки між виникаючими вражаючими чинниками та ін.

При цьому в нормальному режимі роботи ситуаційним центром повинні здійснюватися такі заходи:

- збір інформації для прогнозування можливого розвитку НС та її наслідків;
- побудова моделі на підставі зібраної інформації;
- проведення декількох циклів моделювання;
- розробка на підставі проведеного моделювання різних превентивних планів, що дозволяють ефективно реагувати на виникаючі проблеми.

Крім того, слід накопичувати відомості про ресурси, які необхідні для ліквідації проблем.

Завдяки методу моделювання виникнення несправності на ПНО і процесу усунення несправності, оснований на використанні технології геоінформаційної системи, процес прийняття рішень по ліквідації НС буде ефективним і наочним.

IV Висновки та перспективи подальших досліджень у даному напрямку

В роботі розглянуто питання використання математичних засобів для підтримки прийняття ефективних управлінських рішень в умовах НС техногенного характеру. Виконано детальний аналіз етапів розвитку НС техногенного характеру та вражаючих факторів, що завдають шкоди людським і матеріальним ресурсам внаслідок її виникнення. Наведено параметри, що характеризують той чи інший етап, та особливості їх врахування в математичних моделях, які є основною інформаційно-вимірювальною і керуючою системою екологічного моніторингу. Розглянуто умови та процедура прийняття рішень в умовах НС техногенного характеру.

Подальший розвиток даної тематики автори вбачають в побудові сучасної інформаційно-аналітичної комп'ютерної системи екологічного моніторингу потенційно небезпечних об'єктів, яка дозволить приймати ефективні управлінські рішення щодо попередження НС техногенного характеру, а в разі їх виникнення – надавати рекомендації щодо швидкої ліквідації даних ситуацій.

Список використаної літератури: 1. Коротинський П. А. Класифікація надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру / П. А. Коротинський // *Надзвичайна ситуація*. – 2004. – № 8. – С. 8-11. 2. Шоботов В. М. Цивільна оборона : навчальний посібник / В. М. Шоботов. - вид. 2-ге, перероб. - К. : Центр навчальної літератури, 2006. - 438 с. 3. Попов О. О. Прогнозування аварійного ризику / О. О. Попов // *Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист*. – К., 2013. – № 6. – С. 28-33. 4. Сергеев В. С. *Защита населения и территорий в чрезвычайных ситуациях : учебное пособие для вузов* / В. С. Сергеев. – М. : Академический Проект, 2004. – 429 с. 5. Акимов В. А. *Природные и техногенные чрезвычайные ситуации: опасности, угрозы, риски* / В. А. Акимов, В. Д. Новиков, Н. Н. Радаев. – М. : ЗАО ФИД, 2001. – 344 с. 6. Кофф Г. Л. *Оценка последствий чрезвычайных ситуаций* / Г. Л. Кофф, А. А. Гусев, Ю. Л. Воробьев. - М. : РЭФИА, 1997. - 364 с. 7. *Мастрюков Б. С. Безопасность в чрезвычайных ситуациях : учебное пособие для вузов* / Б. С. Мастрюков. – М. : Академия, 2003. – 331 с. 8. *Реагування на виникнення надзвичайних ситуацій* / під ред. С. О. Гур'єва / ІДУСЦЗ НУЦЗУ; УНПЦ ЕМД та МК. – Вінниця, 2010. – 412 с. 9. Сердюцька Л. Ф. *До огляду моделей розповсюдження димішок в атмосфері міста* / Л. Ф. Сердюцька, О. О. Попов // *Моделювання та інформаційні технології*. – К., 2008. – Вип. 45. – С. 67-80.